



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE



DANIELA RODRIGUES FERNANDES
CIRURGIÃ-DENTISTA

**INFLUÊNCIA DE FONTES DE CALOR DE FUNDIÇÃO NA
FUSIBILIDADE E DUREZA DE UMA LIGA DE Ni-Cr NOVA
E REFUNDIDA ACRESCIDA OU NÃO DE LIGA NOVA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Mestre em Materiais Dentários.

PIRACICABA – S.P.

2003



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA



DANIELA RODRIGUES FERNANDES
CIRURGIÃ-DENTISTA

**INFLUÊNCIA DE FONTES DE CALOR DE FUNDIÇÃO NA
FUSIBILIDADE E DUREZA DE UMA LIGA DE Ni-Cr NOVA
E REFUNDIDA ACRESCIDA OU NÃO DE LIGA NOVA**

ORIENTADOR: PROF. DR. SIMONIDES CONSANI

Este exemplar foi devidamente corrigido,
de acordo com a Resolução CCPG-036/83

CPG. 24/04/03

Assinatura do Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Mestre em Materiais Dentários.

PIRACICABA – S.P.

2003

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	FZUNICAMP
	F3911
V	EX
TOMBO BCI	55164
PROC.	16-124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	08/08/03
Nº CPD	

CM00189597-2

lib id 300868

Ficha Catalográfica

F391i Fernandes, Daniela Rodrigues.
 Influência de fontes de calor de fundição na fusibilidade e dureza de uma liga de Ni-Cr nova e refundida acrescida ou não de liga nova. / Daniela Rodrigues Fernandes. -- Piracicaba, SP : [s.n.], 2003.
 xii, 76f. : il.

Orientador : Prof. Dr. Simonides Consani.
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

I. Materiais dentários. 2. Fundição dentária. I. Consani, Simonides. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Marilene Girello CRB/8-6159, da Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP.



FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SECÃO CIRCULANTE

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de MESTRADO, em sessão pública realizada em 24 de Fevereiro de 2003, considerou a candidata DANIELA RODRIGUES FERNANDES aprovada.

1. Prof. Dr. SIMONIDES CONSANI

2. Profa. Dra. FERNANDA DE CARVALHO PANZERI

3. Prof. Dr. LOURENCO CORRER SOBRINHO

Se temos o pensamento, o entusiasmo e a meta, o que mais precisamos?

Para tornar alguma coisa forte, ela tem que ser presa bem firme nos quatro cantos.

Se já temos 3 cantos firmes o que está faltando?

A DETERMINAÇÃO.

Independente de quantos problemas venham, o olho do seu pensamento não deveria balançar de jeito nenhum.

Você pode se curvar, você pode ter que se moldar, você pode ter que tolerar, você pode ter que ouvir sem ser ouvido, mas você nunca deve abandonar o seu pensamento.

Isto é DETERMINAÇÃO.

Brahma kumaris

Dedico este trabalho à grande mestre e amiga Dr^a.
FERNANDA de CARVALHO PANZERI, que muito me deu de sua fé e ternura, sempre me incentivando, orientando, e que com as luzes de sua experiência e sabedoria conduziu-me ao limiar do meu próprio saber.

Aos meus pais, CLEBER e EVA, como agradecimento ao amor e à minha educação moldada em honestidade e humildade. Agradeço a cada momento por te-los ao meu lado, que com o exemplo e carinho, tornaram possível a minha boa formação.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Prof. Dr. Simonides Consani, Titular da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela competência científica proporcionando orientação segura no transcorrer deste trabalho e pela confiança demonstrada durante o Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários.

Ao Prof. Dr. HEITOR PANZERI, Titular da Área de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto – USP, com quem descobri que a maior finalidade da amizade é o amadurecimento do espírito. Sua sabedoria e seus conselhos preciosos promoveram o encontro de mim mesma com o que tenho de melhor dentro de mim.

AGRADECIMENTOS

À Direção da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. Thalles Rocha de Mattos Filho e do Diretor Associado Prof. Dr. Oslei Paes de Almeida.

Ao Prof. Dr. Mario Fernando de Góes, Titular da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela formação de espírito crítico durante o Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários.

Ao Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho, Titular da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pelo convívio, pelo apoio nos momentos de dúvidas e pelos conhecimentos transmitidos durante o Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários.

Ao Prof. Dr. Mário Alexandre Coelho Sinhoreti, Professor Doutor da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela amizade, convivência harmoniosa, e realização da análise estatística.

À Prof.^a Dr.^a Ana Maria Razaboni, pela amizade, pelo respeito, pelo carinho, pelas oportunidades oferecidas e pela confiança depositada em mim durante minha formação profissional.

Ao Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, na pessoa de sua coordenadora Prof.^a Dr.^a Maria da Glória Chiarello de Mattos, por possibilitar a utilização dos equipamentos para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Osvaldo Luiz Bezzon, pela atenção, presteza e valiosa contribuição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – **CAPES**, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao engenheiro mecânico Marcos Blanco Cangiani, técnico da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela amizade e constante auxílio na solução das dificuldades encontradas durante o Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários.

À funcionária Selma Aparecida Barbosa Segalla, Técnica de Laboratório da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela amizade, confiança, carinho, paciência e presteza.

Ao técnico José Godoi Filho, do Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto – USP, pela confecção dos corpos-de-prova deste trabalho.

À Mariela, à Julie e ao Cleverson, pelo apoio, compreensão, paciência e principalmente pelo amor que nos une fazendo-nos ser verdadeiramente irmãos.

À senhora Neusa de Carvalho Panzeri e à senhorita Daniele de Carvalho Panzeri, amigas com as quais sempre pude contar, dando-me apoio, estímulo e amor durante todos esses anos de minha formação profissional.

À Mônica Aratani, pela amizade e estímulo durante os momentos de desânimo, mostrou-se ser muito mais que uma amiga.

À Grace Mendonça Dias de Souza, pelo apoio, carinho e companheirismo.

Às minhas amigas Patrícia Furtado Gonçalves e Vanessa Gallego Arias pela compreensão e apoio demonstrados durante esta etapa da minha vida.

Aos colegas de mestrado e doutorado do Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários, pela convivência.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS.

SUMÁRIO

RESUMO	01
ABSTRACT	03
1. INTRODUÇÃO	05
2. REVISÃO DA LITERATURA	09
3. PROPOSIÇÃO	38
4. MATERIAL E MÉTODO	39
4.1. Materiais	39
4.2. Metodologia	40
4.2.1. Confeção dos corpos-de-prova	40
4.2.1.1. Análise de Fusibilidade	40
4.2.1.2. Análise da Dureza	41
4.2.2. Inclusão dos corpos-de-prova	42
4.2.3. Aquecimento dos anéis	44
4.2.4. Fusão da liga	45
4.2.4.1. Maçarico Oxigênio/Acetileno	46
4.2.4.2. Aquecimento por Indução	47
4.2.5. Obtenção dos corpos-de-prova	48
4.2.6. Análise das fundições	48
4.2.6.1. Fusibilidade	49
4.2.6.2. Dureza	50
5. RESULTADOS	52
6. DISCUSSÃO	56
7. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE	70

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da fonte de calor na fusibilidade e dureza de uma liga comercial à base de Ni-Cr (VERA BOND II) nova, refundida (100%) e nova acrescida de sobras (50%). Para análise da fusibilidade foram confeccionadas 10 amostras para cada condição de liga, com uma tela para peneira de poliéster, com 11 X 11 filamentos de 0,22 mm de espessura, perfazendo uma malha de 100 espaços quadrados fixada bilateralmente por toda a extensão em fios de cera de 2,5 mm, contendo um pino formador do canal de alimentação no vértice. Para análise da dureza foram confeccionadas pastilhas em cera azul regular, com 8,0 mm de diâmetro por 2,0 mm de espessura, unidas a um pino formador do canal de alimentação. Após a obtenção dos padrões, estes foram fixados à base formadora do cadinho, de forma que a distância da base à câmara de reserva fosse 0,5 cm. Uma solução redutora da tensão de superfície foi aplicada sobre o padrão e após a secagem, este foi incluído em revestimento fosfatado – Termocast (Polidental, São Paulo - Brasil) manipulado a vácuo, seguindo as instruções do fabricante quanto a proporção e tempo de manipulação. Os anéis foram aquecidos em forno elétrico (EDG) até atingirem a temperatura de 900°C, quando foram preenchidos por aproximadamente 15 gramas de liga fundida pela fonte de calor maçarico oxigênio/acetileno ou indução. A injeção da liga foi realizada por uma máquina centrífuga. Após a obtenção e limpeza dos corpos-de-prova foi realizada a análise

de fusibilidade, com o auxílio de um microscópio comparador com aumento de 16 X, considerando o número de espaços preenchidos no molde pela liga. Para análise da dureza superficial Rockwell 30T, os corpos-de-prova foram incluídos em resina acrílica quimicamente ativada, polidos e levados ao aparelho de dureza Testor HTI Super-Panambra, onde foram realizadas as medidas e obtidas as médias. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, em nível de significância de 5%. Quando foram comparadas as fontes de calor com os diferentes tipos de liga houve diferença estatística significativa entre as fontes de calor, na qual o aquecimento por indução demonstrou melhores resultados para fusibilidade. Não houve diferença estatística significativa nos valores médios de dureza quando foi utilizada a fonte de calor maçarico e aquecimento por indução para as ligas virgem e mista, porém o aquecimento por indução demonstrou melhores resultados que o maçarico, diferindo estatisticamente os valores de dureza, quando da utilização da liga refundida.

ABSTRACT

The aim of the present study was to verify the influence of the heat source on the castability and hardness of a Ni-Cr-based commercial alloy – VERA BOND II – in three different conditions: new (first use), recast, and new mixed with scraps. In order to evaluate castability, 10 specimens were made for each alloy condition, using a polyester sieve with 11x11 filaments, 0.22mm thick, resulting in a screen with 100 square spaces. This screen was fixed to 0.25mm threads along the extension of two sides, and a post was fixed to its vertex. In order to perform hardness analysis, circular specimens made of regular blue wax measuring 8.0 mm in diameter and 2.0 mm thick were connected to the post, forming the sprue. The patterns were then fixed to the casting chamber, so that the distance from the base to the reservoir was 0.5 cm. A surface tension-reducing solution was abundantly applied to the patterns and after drying, the patterns were embedded into a phosphate-bonded investment - Termocast (Polidental, São Paulo, Brazil) manipulated under vacuum pressure, following manufacturer's instructions regarding proportions and manipulation times. Casting rings were placed in an electric oven (Bravac) until the temperature of 900°C was reached, and were then filled with approximately 15 grams of alloy, molten either by an oxygen/acetylen gas torch or by induction as heat sources. Following this procedure, castability analysis was performed. A comparison microscope of 16x magnifying power was used to count the number of spaces which were filled by the alloy. In order to

evaluate hardness Rockwell 30T, specimens were embedded in chemically-activated acrylic resin and then placed on a Testor HTI Super-Panambra hardness tester. Hardness values for each specimen were obtained, and the average hardness was calculated. Results were submitted to analysis of variance and averages were compared by Tukey's test at 5% probability. There were statistically significant differences between the heat sources applied to the different types of alloy, with induction presenting the best castability results. There were no statistically significant differences in the average hardness values between torch or induction as the heating source for new and mixed alloys, although induction showed the best results, leading to statistically significant differences in hardness, when recast alloy was used.

1. INTRODUÇÃO

Uma das preocupações na Odontologia é tornar o tratamento restaurador acessível às camadas menos privilegiadas da população. Uma forma de conseguir tal objetivo seria a utilização das ligas de metais básicos (não nobres) em substituição às ligas de ouro que, até a década de 50, foram muito utilizadas na confecção de restaurações para estruturas dentais perdidas e/ou aparelhos protéticos.

Durante a década passada, um considerável número de ligas alternativas para confecção de coroas e próteses parciais fixas começou a ser avaliado, com o intuito de verificar se esses materiais alternativos ao ouro apresentavam propriedades que justificassem tal substituição. Vários tipos de ligas metálicas têm sido desenvolvidos para uso em Odontologia, essas ligas podem ser classificadas em sistemas de metais básicos; não contendo nenhum metal nobre, o que reduzia significativamente o custo, tornando-o mais econômico dentre as ligas disponíveis no mercado (WINKLER & MORRIS, 1984; MORRIS, 1992). Três tipos de ligas alternativas mereceram maior atenção: com baixo conteúdo de ouro, de prata-paládio e de metais básicos, como no caso das compostas por Ni-Cr. Entretanto, quando estas ligas eram consideradas como alternativas às de ouro, surgiam problemas relativos à biocompatibilidade, corrosão, propriedades mecânicas e técnicas (PHILLIPS, 1993a).

Dentre as várias propriedades das ligas alternativas ao ouro, a fusibilidade merece maior atenção por ser considerada a de maior interesse clínico (YOUDELIS & YOUDELIS, 1981), pois baixa fusibilidade pode resultar em falhas marginais, levando à desadaptação da peça, que devido ao aumento da linha de cimentação, facilitaria a desintegração do agente cimentante, promovendo injúrias e recidiva de cárie.

Vários fatores podem influenciar a fusibilidade de uma liga, incluindo a composição (CHERN LIN *et al.*, 1995; BEZZON *et al.*, 1998; BEZZON *et al.*, 2001; SOUZA, Jr. *et al.* 2001) tensão de superfície e densidade, direção das forças na fundição e diferenças entre as máquinas de fundição e fontes de aquecimento da liga (PRESSWOOD, 1983). A influência do revestimento (BARRETO *et al.*, 1980; JOHNSON & WINSTANLEY, 1996), tipo, tamanho e diâmetro do formador do canal de alimentação (WIGHT *et al.*, 1980; RIEGER *et al.*, 1986), efeito das temperaturas do molde e da fusão da liga (HERO, 1984) tem recebido também grande atenção por parte dos pesquisadores.

Os métodos de avaliação da fusibilidade de uma liga são bastante variados, incluindo a confecção de corpos-de-prova em espiral (LACEFIELD *et al.*, 1983), fios de nylon (HOWARD *et al.*, 1980; VINCENT *et al.*, 1977), simulações de coroas (BROCHURST *et al.*, 1983; YOUNIS, 1977) e tela de poliéster para peneira (BOMBONATTI *et al.*, 1985). Entretanto, o mais utilizado consiste na confecção de um corpo-de-prova a partir de uma tela de poliéster, tipo peneira, com filamentos de 0,26 mm de espessura, unida por dois lados formando um V, no qual o pino formador do canal de alimentação é conectado. O método para

avaliação da fusibilidade é por meio da contagem do número de espaços quadrados preenchidos pela liga fundida.

No estudo dos metais, a dureza é uma propriedade fundamental, capaz de expressar diversas propriedades mecânicas, como limite de proporcionalidade, resistências à tração e abrasão, ductilidade e maleabilidade (BOMBONATTI *et al.*, 1990). Assim sendo, o conhecimento da dureza da liga torna-se importante, uma vez que está correlacionada ao conhecimento de outras propriedades (PANZERI *et al.*, 1980).

Os meios de avaliação da dureza de uma liga diferenciam-se apenas quanto ao tipo de aparelho, carga e ponta ativa utilizados para a mensuração, sendo que em alguns casos é possível correlacionar tipos de dureza, como demonstraram BARTON & EICK, em 1973, ao verificar que existia correlação entre os valores de dureza Brinell e Vickers.

Porém, estas propriedades são suscetíveis à variações de acordo com os materiais e técnicas que são utilizadas na confecção da peça protética. As etapas que merecem atenção, dentre todos os passos que envolvem o processo de fundição, são as fontes de calor utilizadas para fusão da liga metálica e os tipos de máquinas utilizadas para injeção da liga liquefeita no molde. Dentre as máquinas de fundição e fontes de calor atualmente utilizadas na Odontologia estão: centrífuga/resistência elétrica; pressão a vácuo/resistência elétrica; centrífuga/maçarico; pressão a vácuo/maçarico. Entretanto, a mais utilizada nos laboratórios de prótese do Brasil é a centrífuga/maçarico, por ser menos dispendiosa. Porém, as máquinas de fundição a vácuo produzem peças com

fidelidade de reprodução superior à das máquinas centrífugas (EAMES & MACNAMARA , 1978).

Vários laboratórios de prótese têm reutilizado as sobras das fundições para a confecção de novas peças, com o intuito de tornar o custo final ainda menor. Porém, esta prática pode trazer prejuízos estruturais à peça, como: perda de propriedades mecânicas devido à falhas que podem ser detectadas logo após a confecção; reprodução inadequada da estrutura ou quando esta já se encontra em função e porosidades internas que podem ocasionar a ruptura da peça. Entretanto, a busca da redução do custo de produção inerente à fabricação de aparelhos protéticos não deve ser valorizada em detrimento da qualidade do aparelho que está sendo confeccionado (RIBEIRO, 1993).

Assim, seria conveniente avaliar a influência de fontes de calor de fundição na fusibilidade e dureza de uma liga comercial de Ni-Cr nova, refundida e nova acrescida de sobras da primeira fusão.

2. REVISÃO DA LITERATURA:

A confecção de restaurações e peças metálicas fundidas é uma prática na Odontologia que se deve a PHILBROOK (1897), onde a técnica para fundição de ligas metálicas teve em TAGGART (1907) um incentivador que buscou, por meio da pesquisa, formar a base de toda a estrutura atual do processo de fundição.

EARNSHAW (1956), analisando as ligas de cobalto-cromo, afirmou que com o uso de chamas para fundição é difícil prevenir o superaquecimento antes do término do processo. Ressaltou também a necessidade de alguma experiência técnica para o correto controle da chama a fim de que se pudesse conseguir fundições satisfatórias. Para que se atinja propriedades mecânicas ótimas, tanto à temperatura ambiente como na boca, é desejável que se consiga uma estrutura granular fina. O superaquecimento da liga durante a fundição resulta em uma estrutura granular grossa e em propriedades mecânicas insatisfatórias. Citou que poderia ser utilizado um arco de carbono para fundição indicando, entretanto, seu uso para ligas que tenham na composição no máximo 0,1% de carbono. Outras possibilidades seriam forno com resistência de carbetto de silício, arco de argônio e forno por indução de alta frequência. Observou também que devido ao alto custo de todos estes métodos de fundição com chama ainda era a mais utilizada.

TAYLOR & HANSON (1960) verificaram que a reutilização de sobras de liga fundida previamente já era acontecimento rotineiro na prática das fundições com ligas de ouro. Por sua vez, os fabricantes das ligas de cobalto-cromo faziam recomendações não uniformes a este respeito. Segundo alguns, seria permitida a mistura de parte da sobra, enquanto outros recomendavam apenas a utilização de liga nova. Desse modo realizaram um estudo no qual pesquisaram a importância deste fator com a utilização das mais modernas técnicas disponíveis na época. Selecionaram uma liga que, segundo o fabricante, deveria ser usada apenas uma vez, porque seria sensível aos efeitos da refundição e a submeteram a um estudo comparativo quanto às suas propriedades elásticas, com amostras fundidas com metal novo e amostras fundidas com metal reutilizado até um total de oito vezes. Os autores concluíram que aumentando o número de refundições a liga sofria diminuição na resistência à tração, no limite de escoamento e no alongamento; e que, na maioria dos casos, embora houvesse diminuição, os resultados obtidos para as ligas fundidas não eram inferiores aos parâmetros preconizados pela ADA – especificação nº 14.

HARCOURT (1962) estudou a reutilização das ligas de cobalto-cromo por refusões sucessivas através de dois métodos distintos: com chama oxiacetileno e elétrico. As amostras fundidas por ambos os métodos não apresentaram diferenças quanto as suas propriedades físicas. O excesso de refundições dessas ligas levou a alteração de suas composições e, conseqüentemente, de suas propriedades físicas e estruturais. O autor observou

que tais alterações passaram a ter alguma significância depois de um certo número de refundições, reduzindo a fluidez e dificultando a fusão da liga, e sugeriu que a liga para ser reutilizada deveria ser misturada com a liga nova em quantidades iguais. Além disso, quando ocorresse a contaminação da liga pelo revestimento ou quando a chama utilizada fosse excessivamente carburante, não deveria haver reutilização da liga.

HARCOURT & COTTERILL (1965) realizaram um estudo comparativo entre a fundição por indução e com uso de chama e concluíram que, a não ser que se use uma temperatura inerte em ambiente controlado, como por exemplo, de argônio, os resultados obtidos com a fundição por indução não seriam superiores aos obtidos com os métodos de fundição com chama. Concluíram ainda que a fundição por indução também poderia causar alterações na composição da liga.

Em 1967, VIEIRA considerava que o desenvolvimento de ligas metálicas tinha de melhorar as propriedades dos metais puros, visto que esses não correspondem, em alguns casos, as necessidades odontológicas. Citou que essas ligas deveriam apresentar zona de fusão limitada, a fim de evitar segregação. Considerou também que a contração de fundição ocorria em três etapas distintas: a contração quando a liga líquida iniciava a solidificação, a contração que ocorria entre o líquido e o solidus e a contração que ocorria entre solidus até a temperatura ambiente. Sendo que essas alterações podiam ser

compensadas pela técnica de fundição quando método da cera perdida era utilizado.

O estudo das propriedades das ligas não nobres utilizadas na Odontologia e das variáveis que as influenciam é uma prática existente desde o surgimento deste material como alternativa ao ouro. Em 1968, ASGAR & ALLAN estudaram a relação existente entre a microestrutura e as propriedades físicas das ligas usadas para fundição de PPR. O processo de fundição foi constante e a microestrutura foi analisada antes e após a fusão do ponto de vista das condições metalúrgicas básicas, como: tamanho dos grãos, ocorrência e distribuição dos carbonetos e outras fases, e a ação de várias técnicas de ataques ácidos. Concluíram que os grãos encontrados eram grandes e que podiam correlacionar as variações da microestrutura com as variações observadas nas propriedades da liga.

Variações na técnica de obtenção de peças metálicas fundidas são feitas com o intuito de se conseguir melhorias no resultado final. ASGAR *et al.* (1969) avaliaram os efeitos das condições de fundição sobre as propriedades físicas de algumas ligas de cobalto-cromo para PPR, submetendo-as a ação dos seguintes fatores: três tipos de colocação de formadores de conduto, duas ceras diferentes para o enceramento, duas temperaturas de fusão e duas direções de injeção da liga no molde. Concluíram que o método de colocação horizontal do formador de conduto em relação ao padrão de cera, promovia melhores

resultados. Observaram também que, em alguns casos, a temperatura e o tipo de cera também influíam nos resultados.

WALD & COCKS (1971) estudaram a influência da fusão nas propriedades mecânicas de quatro ligas à base de Cu-Mn-Ni. Os ensaios mecânicos foram realizados em restaurações metálicas tipo MOD e a condição bruto de fusão foi utilizada como parâmetro para os valores de dureza. Os autores não observaram nenhuma alteração crítica em relação ao valores de dureza, em consequência da fusão deste tipo de liga.

BARTON & EICK (1973) realizaram uma investigação com o propósito de estabelecer a relação entre a dureza Brinell e Vickers em ligas de ouro, com o objetivo de encontrar uma maneira de converter os valores de um método para outro e vice-versa. Uma objeção que fazem ao teste Brinell é a dificuldade de medir precisamente o diâmetro da penetração pela indefinição das margens da impressão. As impressões foram executadas em número de cinco com esfera de aço Brinell e cinco com diamante Vickers, no mesmo corpo-de-prova, próximas umas das outras. Após análise estatística dos resultados obtidos, estabeleceram que se for acrescentado 19 ao número de dureza Brinell, encontraremos aproximadamente o número de dureza Vickers.

LEWIS *et al.* (1975a) avaliaram as alterações que ocorriam nas propriedades mecânicas de uma liga de Ni-Cr através de testes funcionais. Na

primeira série, foi empregado o aquecimento por indução; na segunda série, cadinho de resistência e na terceira, maçarico oxigênio/acetileno. Em cada uma das séries, o metal foi fundido várias vezes, seqüencialmente e todos os corpos-de-prova foram submetidos a testes mecânicos a fim de determinar a força de tensão, a percentagem de dilatação e a dureza. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas apresentaram variação não só de acordo com o número de vezes que a liga foi fundida, como também em relação ao método de aquecimento utilizado para a fundição.

Ainda em 1975b , LEWIS *et al.* realizaram um trabalho sobre as mudanças metalográficas e a identificação de fases, quando da fusão de ligas à base de Níquel. O método de fundição foi de indução para todas as séries de amostras, sendo a primeira série de metal novo, a segunda de metal refundido quatro vezes e a terceira de metal novo superaquecido. O propósito foi um exame mais detalhado para identificação visual da relação entre os elementos componentes da liga e a resistência mecânica pela determinação das fases e suas mudanças provocadas pelas fundições repetidas. As estruturas dos carbeto interdentriticos se tornavam menores e o conteúdo de carbono da liga diminuía com o processo de refundição. Em algumas regiões da liga havia o desaparecimento quase que total dos carbeto eutéticos. A eliminação progressiva desses carbeto foi provavelmente o fator responsável pela perda de resistência mecânica após as fundições.

LEWIS, nesse mesmo ano (1975c), com o objetivo de determinar as variações que ocorriam na composição de uma liga à base de níquel após a fundição relacionadas com suas propriedades mecânicas e sua estrutura metalográfica, realizou testes de tração em corpos-de-prova obtidos através de três técnicas de fundição: a) aquecimento por indução para a fusão da liga; b) com cadinho de resistência elétrica e, c) com maçarico de oxigênio/acetileno. Em cada uma das técnicas, o mesmo metal foi sucessivamente fundido por cinco vezes e, em seguida as amostras das ligas foram submetidas à análise quantitativa de dez elementos, para que fossem investigadas as mudanças na composição associadas aos três métodos de fusão. A avaliação dos dados obtidos levou o autor a concluir que: a) a refundição sucessiva da liga resultou na perda, em maior ou menor grau, de vários elementos alterando, direta ou indiretamente, as propriedades mecânicas e influenciando na capacidade de fundição da liga; b) a perda que merecia maior atenção provavelmente era a do carbono que, juntamente com uma queda simultânea da proporção de alumínio, representaria um motivo muito importante para redução nos valores de resistência; c) as reduções menores na resistência poderiam também ser explicadas pela diminuição na proporção de molibdênio e berílio; d) as perdas nas quantidades de ferro, manganês e silício eram provavelmente pouco importantes, enquanto que as de nitrogênio podiam representar diminuição no mecanismo de resistência e, e) o grau de perda de seus componentes estava relacionado a relativa dificuldade experimentada na refundição da liga; portanto, as alterações observadas na sua

composição estavam diretamente relacionadas ao aquecimento prolongado e, principalmente, com o superaquecimento.

STRANDMAN & GLANTZ (1976) realizaram um estudo das características da chama de oxigênio/acetileno, utilizada nas fundições odontológicas com ligas de Cr-Co. Para cada chama foram confeccionados seis corpos-de-prova e para cada um deles, o tempo de fundição variou entre 20, 40, 60, 80, 100 e 120 segundos. Também foi estudada a variação da distância entre a chama e a liga no cadinho (40, 55 e 70 mm) e a quantidade de liga a ser fundida (10 a 50 gramas), em cadinhos pré-aquecidos a 1000°C e não pré-aquecidos. Os autores concluíram que o índice de transferência do calor e o tempo de fundição foram governados pela temperatura e tendência de oxidação da chama utilizada e da temperatura inicial do cadinho; com a chama não oxidante, o aumento da temperatura da liga variou diretamente com o efeito de aquecimento/temperatura da chama e o óxido criado retardou o aumento da temperatura da liga; quando os cadinhos foram pré-aquecidos, o tempo de fundição foi menor; a variação na quantidade de liga não afetou a relação entre o tempo de fundição das várias chamas e, com o aumento da distância entre a chama e a liga, o tempo para fundição foi maior.

YOUNIS (1977) estudou a fluidez de novos sistemas de ligas para fundição. Relatou que as ligas de metais básicos com baixo conteúdo de ouro tornaram-se populares e que as propriedades mecânicas dessas ligas mostravam-

se melhor ou comparáveis com as das tradicionais ligas de ouro. Determinou a fluidez de vinte e um tipos de ligas diferentes através de modelos MOD em pré-molares e molares, coroa $\frac{3}{4}$ em canino e coroa total em incisivo central. As fundições foram avaliadas pelo seu ajuste nos troquéis de acordo com as observações efetuadas, por dez operadores. O autor concluiu que o ajuste das peças metálicas confeccionadas com ligas de metais básicos foi considerado aprovado pelo seu aceitável limite clínico.

Nesse mesmo ano de 1977, a importância do aquecimento gradual do molde foi relatada por ASGAR, recomendando que os moldes fossem aquecidos lentamente, a fim de evitar: que as bolhas de cera e vapor d'água produzissem asperezas que resultariam em inclusões ou poros superficiais nas fundições obtidas; que, em alguns revestimentos, ocorria fraturas nas paredes do molde (causadas pela diferença entre a temperatura externa e do núcleo do molde) que produziriam defeitos superficiais e que a queima incompleta da cera permitia que o carbono liberado obstruísse os poros do revestimento, impedindo a ventilação do molde, deixando porções de gases presos. Esses gases poderiam causar a obtenção de peças incompletas. Recomendou ainda que, em razão de já se ter um grande desenvolvimento de ligas alternativas, dever-se-ia dar mais atenção a premente necessidade de resolver alguns problemas freqüentemente notados, como: má fusibilidade, má adaptação, superfície áspera, dificuldade de soldagem, dificuldades para acabamento e polimento.

VINCENT *et al.* (1977) compararam a fluidez de ligas preciosas e não preciosas para prótese metalocerâmicas. Os padrões eram feitos de barras de nylon e seus diâmetros foram medidos usando um micrômetro. A seguir, eram posicionados perpendicularmente a um cilindro de cera e incluídos. A verificação era feita medindo-se as dimensões de cada fundição de comprimentos e diâmetros diferentes. Concluíram que a fluidez das ligas variava em relação com a densidade, problema que poderia ser resolvido pelo aumento da força de fundição. O superaquecimento para melhorar a fluidez era contra-indicado, pois alguns elementos podiam volatilizar, causando porosidade e alterações nas propriedades da liga. Citaram também que a velocidade de preenchimento do molde estava relacionada com a fluidez. De modo geral, as ligas não-preciosas não possuíam tanta fluidez quanto às ligas preciosas.

EAMES & MACNAMARA (1978) fizeram um estudo utilizando três ligas à base de prata, confeccionando três padrões de cera em forma de lâmina incluídos em revestimento para técnica da expansão térmica. As máquinas de fundição/fontes de calor utilizadas foram: centrífuga/resistência elétrica; pressão a vácuo/resistência elétrica; pressão a vácuo / gás e ar (ligas de ouro) e gás e oxigênio (ligas de prata); e centrífuga a vácuo/gás e ar (ligas de ouro) e gás e oxigênio (ligas de prata). Após a obtenção das fundições, os corpos-de-prova foram embutidos em acrílico, polidos e as medidas das discrepâncias foram feitas em um microscópio com aumento de 125 vezes. O critério para avaliação do grau de reprodução foi a largura da aresta da fundição, onde as mais largas indicaram

arredondamento da borda, o qual foi considerado como a margem incompleta e pouco sucesso da fundição. Os autores concluíram que as três máquinas de fundição a vácuo produziram amostras com fidelidade de reprodução superiores aos das máquinas centrífugas.

HOWARD *et al.* (1980) verificaram a fluidez de sete ligas comerciais com baixo conteúdo de ouro usadas em próteses metalocerâmicas e de cinco ligas comerciais amarelas, com baixo conteúdo de ouro. As ligas foram comparadas entre si, usando como controle uma liga de ouro tipo III. Um modelo com um conduto de alimentação de cera, calibre 14 e fios de nylon de diâmetros diferentes, foi utilizado para avaliar a fluidez das ligas. Os resultados indicaram grande diferença entre a fluidez das ligas amarelas e das usadas para próteses metalocerâmicas. Por outro lado, algumas pequenas diferenças foram observadas também entre as ligas do mesmo tipo. Porém, não foi possível avaliar se as diferenças observadas seriam clinicamente significantes.

A dureza é sem dúvida uma propriedade de grande importância da liga metálica uma vez que está relacionada com outras grandezas. PANZERI *et al.* (1980) evidenciaram o grande interesse da classe odontológica por ligas metálicas de baixo custo, alertando que é necessário que apresentem propriedades físicas, mecânicas, químicas e biológicas que justifiquem sua indicação. Estudaram algumas propriedades de uma liga comercial à base de prata-estanho. O ensaio de dureza foi realizado com diamante Vickers, carga de 100 gramas aplicada

durante 30 segundos. Nos corpos-de-prova fundidos com anel a 650°C, encontraram dureza média de 61,14 VHN, enquanto que nos corpos-de-prova fundidos com anel a baixa temperatura as médias foram de 70,54 VHN, semelhantes às ligas de ouro do tipo I.

Em 1980, CRAIG ressaltou a necessidade do controle técnico ao se utilizar para a fusão da liga a chama de maçarico. Afirmou que o aquecimento intenso ou prolongado durante a fusão da liga é prejudicial, pois poderá provocar evaporação de alguns componentes. Este fato é importante durante o emprego do maçarico, onde a quantidade de calor da chama não pode ser suficientemente controlada. Assim, o excesso de calor fornecido pela chama do maçarico promoveria a volatilização de alguns componentes da liga, com pontos de fusão mais baixos, alterando a viscosidade e dificultando a injeção da liga .

BARRETO *et al.* (1980) analisaram algumas marcas comerciais de revestimentos fosfatados e sua influência na qualidade e reprodutividade de fundições feitas com metal precioso de alta fusão e três ligas de metais básicos. Um molde de alumínio foi fabricado de modo a prover três padrões de cera com linhas de referência no sentido horizontal e vertical. Foram utilizados 3 revestimentos fosfatados (CERAMIGOLD, CERAMIGOLD II e COMPLETE) e 4 ligas: SMG II – liga de ouro de alta fusão e as outras três ligas à base de cromo, níquel ou cobalto. Após a remoção do revestimento, as fundições foram medidas na linha horizontal e na linha vertical, comparando com o padrão e analisadas

também sob o aspecto de porosidade e rugosidade de superfície. Foram confeccionadas 5 fundições para cada uma das 12 combinações liga/revestimento, com total de 60 fundições. Evidenciando que todas as ligas, especialmente as não-preciosas deviam ser testadas quanto à compatibilidade com diferentes revestimentos, antes de evidenciar ou não as qualidades para o uso clínico.

WIGHT *et al.* (1980) avaliaram três variáveis que afetavam as fundições com ligas de metais básicos, onde foram confeccionados 54 padrões de cera com formato cilíndrico, com 10 mm de comprimento por 6 mm de diâmetro, separados em três grupos de 18 padrões, a fim de verificar os efeitos dos condutos acessórios de ventilação, largura do conduto principal e espessura do revestimento. Todos os condutos principais eram retangulares, com 1,25 mm de espessura por 5,0 mm de comprimento, variando a espessura da área de união com o padrão de cera em 1, 2 e 3 mm. O padrão de cera unido ao conduto formava um ângulo de 135°. De cada grupo subdividido, 6 padrões eram confeccionados com dois condutos acessórios, para aumentar a ventilação. Outros 6 padrões não eram ventilados. Foi utilizado um revestimento à base de fosfato e um anel de aço inoxidável revestido internamente por uma tira de amianto. Após a mistura do revestimento por 10 segundos, os anéis com os padrões de cera foram preenchidos, variando de 6,34 ou 1,58 mm a espessura do revestimento para preencher totalmente o anel. Em seguida, os anéis foram colocados em um forno elétrico a temperatura de 121°C, por 4 horas, com

aumento da temperatura para 704°C, mantendo-a por 2 ½ horas. A liga de Ni-Cr foi fundida em uma máquina Ticomatic e os corpos-de-prova foram deixados esfriar à temperatura ambiente. Após limpeza e remoção dos condutos, os corpos-de-prova foram seccionados longitudinalmente e examinados macro e microscopicamente para verificação de porosidade ou fundição incompleta dos padrões. Os autores concluíram que todos os padrões com condutos acessórios (ventilados) e com área de união do conduto principal ao padrão de 2 a 3 mm não apresentaram falhas de fundição, sendo que a espessura não interferiu nos resultados.

HESBY *et al.* (1980) estudaram a resistência à tração, dureza e percentagem de alongamento das ligas não preciosas Ticon, para fundição de pontes fixas. Essas propriedades foram analisadas na liga nova e com duas, três e quatro refusões. Concluíram que a resistência à tração e a porcentagem de alongamento não apresentaram nenhuma diferença significativa entre a liga nova e com duas, três ou quatro refusões. Isso, segundo os autores, possibilitava o uso dessa liga até por quatro refusões, sem necessidade de acrescentar liga nova.

Dentre as propriedades de um metal, a fusibilidade merecia atenção por estar diretamente relacionada, como relataram YOUDELIS & YOUDELIS (1981), com a capacidade de uma liga reproduzir exatamente os detalhes de uma fundição, e esta dependia de três fatores: alta fluidez, ausência de produtos de oxidação e baixa tendência ao molhamento. O aumento da tensão superficial da

liga aumentava a fluidez ou o escoamento do metal com a interface do metal/molde.

SANTOS & MIRANDA (1981) avaliaram cinco ligas comerciais compostas basicamente de níquel/cromo, em seus aspectos de microestrutura e propriedades mecânicas. Os ensaios mecânicos foram de dureza Vickers, resistência ao dobramento e adesão metal-cerâmica. Para esses testes foram selecionadas quatro condições experimentais: como recebida; botão de fusão; bruto de fusão e após porcelana. Os valores observados nos ensaios de dureza e resistência ao dobramento foram bastante elevados, chegando a ser maiores do que os correspondentes às ligas de Au do tipo IV, após tratamento térmico endurecedor. As variáveis experimentais modificaram substancialmente as propriedades estudadas, particularmente a dureza.

Um padrão de fluidez para as ligas utilizadas em Odontologia foi determinado por BROCKHURST *et al.* (1983). O padrão era constituído de um troquel metálico em forma de coroa total para metalocerâmica, com parede de 0,35 mm de espessura e uma margem aguda de 30°. Utilizaram nesse estudo quinze ligas e quatro metais básicos. Avaliando os resultados, os autores concluíram que: a reprodutibilidade nas margens das fundições era a característica que estava diretamente relacionada com a fluidez da liga usada; a discrepância marginal clinicamente aceitável devia ser menor que 50 μm ; a deficiência da margem aceitável nas peças fundidas deveria ser menor que 25 μm ;

o teste de fluidez demonstrou significativa variação de fluidez com os diversos tipos de liga; e as deficiências nas peças testadas sugeriam que a maior parte delas necessitava de um refinamento das margens para produzir resultados aceitáveis.

A influência da composição na fusibilidade da liga foi avaliada por PRESSWOOD (1983), o qual determinou a fluidez de diversas ligas, utilizando uma tela de plástico (nylon). O padrão apresentado tinha a forma retangular, medindo 25 mm X 32 mm, com filamentos de 0,3 mm de diâmetro, contendo trezentos e vinte espaços vazios. A avaliação foi realizada contando o número de vazios que foi preenchido após a fundição. As ligas de níquel-cromo contendo menos de 2% de berílio apresentaram fluidez superior à das ligas de metal precioso, usado para trabalhos em porcelana. A oxidação da liga níquel-cromo, contendo 1,8% de berílio foi mínima.

LACEFIELD *et al.* (1983) compararam a fluidez de ligas compostas de Ni-Cr e Pd-Ag com uma liga de ouro tipo III. Os testes foram realizados com um padrão confeccionado com cera nº 8, em forma de espiral, com sete voltas completas com espaçamento de 2,0 mm. Os autores verificaram que as ligas de ouro possuíam maior fluidez do que qualquer liga não preciosa. As ligas de Ni-Cr contendo berílio e as ligas de Pd-Ag exibiram melhor fluidez do que as ligas de Ni-Cr sem berílio.

SILVA FILHO (1983) estudou algumas variáveis para as ligas de Cu-Al, como os efeitos de ligas, técnicas de fusão, tratamentos térmicos na contração de fundição e dureza Vickers. Foram empregadas as técnicas de fusão com maçarico gás/ar, utilizando centrífuga convencional e centrífuga elétrica; e dois tratamentos térmicos: endurecedor (anel aguardava dez minutos após fundição para ser mergulhado em água) e amaciador (anel mergulhado em água imediatamente após a fundição). O autor concluiu que as técnicas de fusão influenciaram na contração de fundição, porém não houve diferença nos valores de dureza Vickers.

Segundo WINKLER & MORRIS (1984), a quebra da bolsa de valores de Nova York e outras crises econômicas que atingiram o mundo refletiram diretamente no preço do ouro, quando tornou-se quase impossível à execução rotineira de trabalhos protéticos com este material. Com a finalidade de contornar este problema, foram desenvolvidos ligas alternativas às de ouro, surgindo assim as ligas não-preciosas

HERO (1984) investigou a influência da temperatura na fusibilidade, superfície final e propriedades mecânica de três ligas comerciais: VITALLIUM, WIRONIT e WIRONIUM, fundidas por indução com proteção em argônio e utilizada em uma máquina centrífuga para injeção da liga. Todos os padrões de cera foram incluídos em revestimento fosfatado. As temperaturas de fundição foram verificadas pela radiação do pirômetro e aumentada de 15°C a 30 °C até 120°-135°C acima do ponto de fusão. Para análise da fusibilidade foi utilizada uma

tela de poliéster com área de 24 mm x 24 mm. A fusibilidade foi mensurada pela porção da malha completada pelo metal líquido durante a fundição. Para análise da dureza Vickers foram confeccionados espécimes cilíndricos com 3,0mm de diâmetro. Os resultados indicam que a fusibilidade aumentou com o aumento da temperatura e aproximadamente na mesma proporção para as três ligas, porém os valores de dureza não foram influenciados pelo aumento da temperatura.

Em 1985, BOMBONATTI *et al.* avaliaram a fluidez de três ligas cobre-alumínio em função do aquecimento acima da temperatura de fusão. Os corpos-de-prova foram confeccionados com uma tela quadrada de poliéster, com 11x11 filamentos, perfazendo uma malha de cem espaços quadrados. Os dois lados adjacentes das redes foram fixados por barras cilíndricas de cera azul, com pino formador do conduto de alimentação fixado em sua união. As peças metálicas foram obtidas fundindo as ligas em uma máquina de fundição elétrica, empregando-se temperaturas de 25°C e de 50°C acima da temperatura de fusão das ligas. O valor da fluidez foi obtido pela quantidade de segmentos da malha completados na fundição. Os autores concluíram que existe uma variação de fluidez entre as ligas de cobre-alumínio. A fluidez aumentou quando se elevou a temperatura acima de 50° C, para as ligas Duracast e Idealloy e não houve influência na liga Maxicast.

RIEGER *et al.* (1986) avaliaram o efeito do tipo de formador do conduto de alimentação utilizado nas fundições com metais básicos. Neste estudo foram

utilizados um formador de canal experimental cônico e um cilíndrico tradicional com câmara de reserva. Para determinar as diferenças de fusibilidade entre o experimental e o cilíndrico tradicional, um padrão de malha de poliéster foi escolhido. Doze padrões foram construídos para cada grupo. A distância total entre o padrão e a base do formador do conduto foi igual para ambos os grupos. Os anéis foram incluídos com revestimento fosfatado. A fusão da liga foi realizada em uma máquina por indução. A porção do padrão com a malha foi separada do conduto, a área de união foi completamente removida para eliminar variações de massa que poderiam afetar o peso das fundições. Os resultados obtidos mostram que a forma experimental do formador do conduto foi superior ao do controle sob as condições testadas.

COMÉRIO (1987) analisou comparativamente os valores de dureza de ligas nobres e de ligas de Ni-Cr. Concluiu que em relação aos valores de dureza das ligas de Ni-Cr, eram bastante altos se comparados aos de ligas nobres; e que as ligas de Ni-Cr apresentavam uma estrutura mais resistente para a colocação da porcelana. Além disso, as conexões entre elementos de suporte podiam ser menos espessas, sem que isso afetasse a resistência.

A influência da refusão das ligas de cobre-alumínio foi verificada por BOMBONATTI *et al.* (1988) utilizando máquina elétrica, ligas novas e refundidas até quatro vezes. Foram avaliadas quatro ligas: DURACAST MS, IDEALLOY, MAXICAST e ORCAST. De acordo com os resultados obtidos, os autores

concluíram que houve diferença de fluidez entre as ligas estudadas, ficando com maiores valores, as ligas Maxicast e Idealloy e os menores as ligas Duracast MS e Orcast. As refusões em até quatro vezes não interferiram na fluidez das ligas estudadas, quando se empregou máquina elétrica para fusão dessas ligas.

SILVA FILHO *et al.* (1988), utilizando ligas do sistema Cu-Al, analisaram a influência das técnicas de fusão e tratamentos térmicos na dureza Vickers e na contração de fundição. Os anéis foram aquecidos em forno elétrico e foram empregadas as técnicas de fusão com maçarico gás/ar, utilizando centrífuga convencional e elétrica. Foram adotados dois tratamentos térmicos: endurecedor (anel aguardava dez minutos após a fundição para ser mergulhado em água) e amaciador (anel mergulhado imediatamente após a fundição). A análise dos resultados demonstrou que os valores de dureza Vickers não foram influenciados pelos tratamentos térmicos.

SCARANELO *et al.* (1990) estudaram os efeitos das técnicas de fusão sobre a fluidez de ligas do sistema cobre-alumínio. Foram avaliadas 4 ligas comerciais: DURACAST MS, IDEALLOY, MAXICAST e ORCAST. Os corpos-de-prova foram confeccionados com uma tela de poliéster para peneira com 11 X 11 filamentos de 0,26 mm de espessura, perfazendo uma malha de 100 espaços quadrados e incluídos em revestimento CRISTOBALITE KERR. Os anéis foram aquecidos em um forno elétrico (Bravac), até atingir a temperatura de 700°C, quando eram preenchidos por aproximadamente 6 gramas de liga fundida em uma

centrífuga TS-1 (Degussa S. A.) e em uma convencional com maçarico gás/ar. A análise dos resultados demonstrou que não havia diferença de fluidez entre as ligas estudadas e a utilização da centrífuga elétrica proporcionava fluidez das ligas superiores aos daquelas proporcionadas quando da utilização da centrífuga comum com chama gás/ar.

BOMBONATTI *et al.* (1990) compararam os valores de dureza Vickers de 5 ligas comerciais de cobre (DURACAST MS, IDEALLOY, MAXICAST , ORCAST e GOLDENT LA) na forma como são recebidas e após a fundição em função das técnicas de fusão. Para a verificação da dureza na condição como recebidas 10 lingotes de cada liga foram incluídos em resina acrílica ativada quimicamente. Para cada lingote foram realizadas 5 penetrações com carga de 200 gramas por 30 segundos, empregando a técnica do quadrante, sendo o resultado final a média de 5 leituras. Para análise da dureza após a fusão, os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de bastões de cera azul para incrustações, seccionados horizontalmente em porções de aproximadamente 3 mm. Os anéis foram preenchidos com revestimento à base de cristobalita e levados ao forno até atingirem 700°C, quando foram preenchidos por aproximadamente 3 gramas de liga fundida em uma centrífuga elétrica TS-1 (Degussa S. A.) e em uma convencional com maçarico gás/ar. Os resultados indicaram que a utilização da centrífuga elétrica proporcionava valores de dureza inferiores aos daqueles obtidos com centrífuga comum de chama gás/ar, e que há uma diminuição nos valores de dureza após a fusão da liga.

VERONESI *et al.* (1992) fizeram análise da dureza superficial e deposição dos grãos cristalinos de três ligas de Cu-Al fundidas com as seguintes fontes de calor: gás/ar, gás/oxigênio e resistência elétrica. Foram confeccionados 45 modelos de cera, com auxílio de uma matriz de aço inoxidável com uma cavidade semelhante a um preparo MOD. Após as fundições, cinco corpos-de-prova foram incluídos em pastilhas confeccionadas com resina acrílica, conforme a fonte de calor utilizada. Estas pastilhas de prova, após acabamento e polimento, foram submetidas à análise das disposições dos grãos e dureza superficial. A análise das disposições dos grãos cristalinos demonstrou que o maior número de grãos por área coincidiram com aqueles corpos-de-prova que apresentavam os maiores valores de dureza superficial. Já a análise da dureza superficial demonstrou que quando utilizada a fonte de calor gás/ar, a liga IDEALLOY apresentou o maior valor. Para fonte de calor gás/oxigênio, a liga DURACAST apresentou o maior valor, e com a fonte de calor resistência elétrica, a liga IDEALLOY obteve o maior valor de dureza superficial. Foi confirmada que a concentração dos grãos cristalinos com a redução dos espaços adjacentes melhorou a dureza superficial para as amostras. Os autores concluíram que a microdureza das ligas foi modificada de acordo com a fonte de calor, e que a disposição dos grãos cristalinos das ligas, com exceção da liga GOLDENT, foi influenciada negativamente pelas fontes de calor.

Em 1992, MORRIS *et al.* sugeriram uma classificação baseada nas propriedades químicas e valor econômico. Consideraram como sendo ligas de

metais nobres aquelas com resistência a oxidação e reações químicas com o meio bucal; e à base de metais preciosos foram classificadas devido o seu valor econômico.

STOLF verificou, em 1993, a composição qualitativa e quantitativa, dureza superficial e resistência à manchas e oxidação de ligas alternativas com baixo teor de ouro, de prata-paládio, de prata, e de cobre-alumínio de forma que os corpos-de-prova metálicos eram obtidos com liga nova, liga fundida, liga refundida com adição de 50% de liga nova e liga refundida sem adição de liga nova. O autor concluiu que as ligas apresentavam composição básica condizente com seu sistema, apresentando pequenas variações em suas percentagens, além da inclusão de um ou outro elemento químico diferente em sua composição. A dureza superficial para cada tratamento (liga nova, refundida com 50% de liga nova e refundida sem acréscimo de liga nova) não apresentou uma coerência de resultados entre ligas assim como as manchas e oxidação também não apresentaram. Os resultados de dureza superficial e de manchas e oxidação sugeriram que essas ligas alternativas não apresentam homogeneidade ou eram facilmente influenciáveis pelo processo de fundição.

Neste mesmo ano, RIBEIRO avaliou alguns efeitos sofridos nos valores de tensão de ruptura, alongamento, limite de proporcionalidade e dureza de duas ligas comerciais de cobalto-cromo (BASALLOY e CROMOTEC) quando eram adicionadas à liga nova, quantidades variadas e predeterminadas de liga já

fundida uma única vez. A análise dos resultados demonstrou que houve alterações não uniformes nos valores de dureza destas ligas e estas foram diferentes estatisticamente. O autor ressaltou que na utilização de uma liga já fundida, não se devia priorizar a redução do custo em detrimento da qualidade do aparelho protético.

Segundo PHILLIPS, em 1993a, a formulação da maior parte das ligas não preciosas utilizadas atualmente baseia-se no sistema de Ni-Cr, provavelmente devido à semelhança de características de expansão com as ligas de ouro e também pelo tipo bastante conveniente de óxidos formados e que é um dos mecanismos responsáveis pela adesão da porcelana ao metal. Além do custo reduzido, as ligas de Ni-Cr, apresentavam algumas propriedades mecânicas superiores às ligas de metais nobres. Entre essas propriedades, a rigidez ou módulo de elasticidade e a resistência a ruptura duas vezes maior do que outras ligas, o que ampliava o uso desse material para peças protéticas com maior número de elementos. Por apresentarem temperatura de fusão mais elevada, as ligas de metais não-preciosos possuíam uma resistência maior do que as ligas áureas.

Nesse mesmo ano (1993b), PHILLIPS, quando se referia à manchas e corrosão, definiu que a mancha é uma ligeira perda ou alteração do acabamento ou brilho superficial. Um dos requisitos primordiais para que uma liga seja usada na boca era de que não apresentasse produto de corrosão ou manchamento que

alterasse sua estrutura e não liberasse esses produtos na boca do paciente. A boca humana é um laboratório ideal para a formação de corrosão ou manchas pois contém umidade e variações de temperatura, além dos alimentos apresentarem pH variável. A degradação dos alimentos na boca promove a liberação de ácidos, proporcionando condições ideais e favoráveis para a produção de mancha e posteriormente corrosão.

CHERN *et al.* (1995) analisaram o efeito da adição de níquel (5% em peso) na microestrutura, fusibilidade, resistência à corrosão e outras propriedades em ligas com alto conteúdo de cobalto (acima de 25% em peso) Ti-Co-Ni. Os resultados indicaram que a temperatura de fusão dessas ligas foram menores que a temperatura de fusão do titânio puro. A adição de 5% em peso de Níquel em substituição ao Cobalto diminuiu significativamente a temperatura de fusão. A fusibilidade das ligas foi aumentada pelo acréscimo do conteúdo de Ni na liga e aumento da temperatura do molde. A substituição do Co por 5% em peso de Ni aumentou os valores de fusibilidade.

MOSLEH *et al.* (1995) avaliaram a fusibilidade e o efeito da refusão de ligas para metalocerâmicas. Foram utilizadas quatro ligas para metalocerâmicas, incluindo três ligas de metais básicos (níquel-cromo, cobalto-cromo, e titânio) assim como uma liga de ouro como controle. Um padrão em malha foi usado para confeccionar 20 peças fundidas, cinco para cada liga. Os valores percentuais de fusibilidade foram calculados pela contagem dos segmentos preenchidos pela liga.

O efeito da refusão na fusibilidade foi avaliado usando liga nova e fundida na proporção de 50:50, com padrão em malha. Os resultados demonstraram valores superiores de fusibilidade nas ligas de ouro quando comparadas aos resultados obtidos pelas ligas de Ni-Cr. Na refusão encontrou-se uma significativa diminuição da fusibilidade para as ligas de titânio enquanto que os outros sistemas estudados não foram afetados significativamente.

JOHNSON & WINSTANLEY (1996) analisaram os fatores que afetavam a fusibilidade de ligas para metalocerâmica. A avaliação da fusibilidade das ligas para metalocerâmica e revestimentos usando o teste em malha, com um padrão fatorial demonstrou que as diferentes ligas para metalocerâmica (a base de ouro, a base de paládio e a base de níquel-cromo) reagiam diferentemente, assim como a fusibilidade era afetada pelos vários fatores que envolviam o processo de fundição. Estes fatores podiam ser divididos em dois grupos: fatores procedimentais, que incluíam diâmetro do cadinho, técnica de inclusão, e método de fusão; e fatores operacionais, que incluíam a temperatura de fusão da liga, temperatura do molde e tempo de aquecimento do forno.

BEZZON *et al.* (1998) avaliaram a influência do berílio na composição de ligas a base de níquel na fusibilidade e resistência de união metalocerâmica. Três ligas experimentais, com diferentes conteúdos de berílio foram usadas e uma liga sem berílio foi utilizada como controle. A análise dos resultados demonstrou diferenças estatisticamente significativas nos valores de fusibilidade e resistência

de união entre as ligas. As ligas que possuíam berílio em sua composição tiveram melhor fusibilidade que a liga sem berílio em sua composição. A liga que possuía 0.9% de berílio demonstrou maior resistência de união que a liga livre de berílio.

AFONSO & CARVALHO (2000) avaliaram a influência da técnica de inclusão na fluidez de três ligas à base de cobre. Foram confeccionados 63 corpos-de-prova obtidos de uma tela de poliéster para peneira com filamentos de 0,26 mm de espessura, perfazendo uma malha de 100 espaços quadrados. A tela foi fixada em cera e o padrão foi fixado em uma base formadora de cadinho, a uma distância de 6 mm da borda superior. Os anéis foram preenchidos utilizando três técnicas: técnica convencional; técnica higroscópica e técnica sobre pressão. Após a inclusão, os anéis foram levados ao forno e após completar o ciclo de aquecimento, aproximadamente 7 gramas de liga foram fundidas com maçarico gás/ar e injetados no interior do molde. A análise dos resultados permitiu aos autores concluir que nenhuma das técnicas de inclusão utilizadas apresentou diferenças no resultado final, e que não houve diferença nos valores de fluidez nas técnicas de inclusão convencional, higroscópica e sob pressão.

SOUZA Jr. *et al.* (2001) avaliaram a fluidez em função da fonte de calor. Foram estudadas seis ligas alternativas para metalocerâmica, sendo duas ligas de níquel-cromo-berílio (*LITECAST B* e *VERABOND*), duas ligas de níquel-cromo (*VERABOND II* e *DURABOND*) e duas ligas à base de paládio-prata (*PORS-ON4* e *W1*) os corpos-de-prova foram confeccionados empregando-se uma tela de

nylon, com 16 x16 filamentos de 0,26 mm de espessura, totalizando 256 quadrados completos. As ligas foram fundidas por meio de maçarico gás/oxigênio e acetileno/oxigênio e injetadas com auxílio de uma centrífuga convencional ativada com quatro voltas. O valor da fluidez foi obtido pela percentagem de quadrados completos preenchidos. Verificaram que o uso da fonte de calor gás/oxigênio apresentava resultado superior, e entre as ligas, as de Ni-Cr-Be foram melhores, seguidas em ordem decrescente pelas ligas de Ni-Cr e Pd-Ag.

Ainda em 2001, BEZZON *et al.* analisaram a influência do Be na fusibilidade, dureza e resistência de união de duas ligas comerciais à base de Ni-Cr (VERABOND II e WIRON 99), uma liga experimental com Nb e/ou Mo em sua formulação e uma liga experimental à base de Ni-Cr com 1,1% de Be em sua composição. A análise da fusibilidade foi realizada utilizando uma tela quadrada para peneira de poliéster com 11x11 filamentos com espessura de 0,26 mm perfazendo uma malha de 100 espaços quadrados. Os ensaios de dureza Rockwell 30 T foram realizados em um aparelho de dureza Testor – Panambra. Os resultados demonstraram que houve diferença estatística significativa nos valores de fusibilidade entre as ligas à base de Ni-Cr e à base de Ni-Cr-Be, porém, estas não diferiram estatisticamente da liga à base Ni-Cr com Nb e/ou Mo. Os valores de dureza Rockwell 30 T das ligas avaliadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Os autores concluem que a presença do Be na composição da liga de Ni-Cr não contribui para que haja um aumento da fusibilidade.

FERNANDES *et al.* (2002) verificaram a influência do ambiente de inclusão na fusibilidade de ligas de Ni-Cr, Co-Cr e Cu-Al. Foram confeccionados 60 corpos-de-prova para obtenção de 20 fundições de cada tipo de liga, sendo que 10 foram incluídos em anel metálico e 10 em anel de silicone. Os resultados indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa na fusibilidade das diferentes ligas quando o anel de silicone foi utilizado para inclusão, sendo que a melhor fusibilidade foi da liga Co-Cr.

3. PROPOSIÇÃO

O propósito deste trabalho foi verificar a fusibilidade e a dureza superficial Rockwell 30 T de uma liga comercial de níquel-cromo (VeraBond II) submetida a refusão e quando misturada às sobras da primeira fusão, fundidas pela técnica convencional (maçarico) e aquecimento por indução, nas seguintes situações (% em peso):

- 1- 100% de liga nova.
- 2- 50% de liga nova + 50% de sobra da 1ª fusão.
- 3- 100% de sobra da 1ª fusão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – MATERIAIS

Para a realização deste estudo foram selecionados os seguintes materiais, como descritos no QUADRO 1.

QUADRO 1 – Descrição dos materiais selecionados neste estudo*.

Marca Comercial	Composição	Fabricante
Liga Metálica VeraBond II	77,5% Níquel 12,50% Cromo 4,25% Molibdenio 2,25% Alumínio 0,45% Titânio 4,00% Nióbio 0,50% Silício	Aalba Dent, Cordelia, USA
Revestimento Fosfatado Thermocast	Pó: Fosfato de amoema, óxido de magnésio, cristobalita e dióxido de silício Líquido: água e sílica coloidal	Polidental, São Paulo, Brasil
Cera em bastões	Parafina, cera de carnaúba e corantes artificiais	Dentsply Indústria e Comércio Ltda., Petrópolis, Rio de Janeiro
Cera em fio	Parafina, cera de carnaúba e corantes artificiais	Babinete Indústria e Comércio de Ceras LTDA, Maringá, Paraná

* informações obtidas do fabricante.

4.2 - METODOLOGIA

4.2.1 - CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

4.2.1.1 - ANÁLISE DA FUSIBILIDADE

Para análise da fusibilidade, os corpos-de-prova metálicos foram obtidos a partir de uma tela de poliéster para peneira com formato quadrado, tendo 11 x 11 filamentos de 0,22 mm de espessura, perfazendo uma malha de 100 espaços quadrados. A tela foi fixada com cera azul ao longo de dois lados de um pino pré-fabricado de resina plástica, com diâmetro de 2,5 mm (Figura 1 A) e unido ao pino formador de canal de alimentação, também pré-fabricado de resina plástica, porém com diâmetro de 3,5 mm (Figura 1 B). O conjunto foi fixado em uma base formadora do cadinho, de forma que o corpo-de-prova ficasse a 8 mm da parte mais alta do cadinho (BOMBONATTI *et al.*, 1985). Em cada base formadora do cadinho foram fixados três corpos-de-prova paralelos entre si (Figura 1C), e a distância da base formadora do cadinho ao corpo-de-prova foi fixada em 0,5 cm, como forma de padronização.

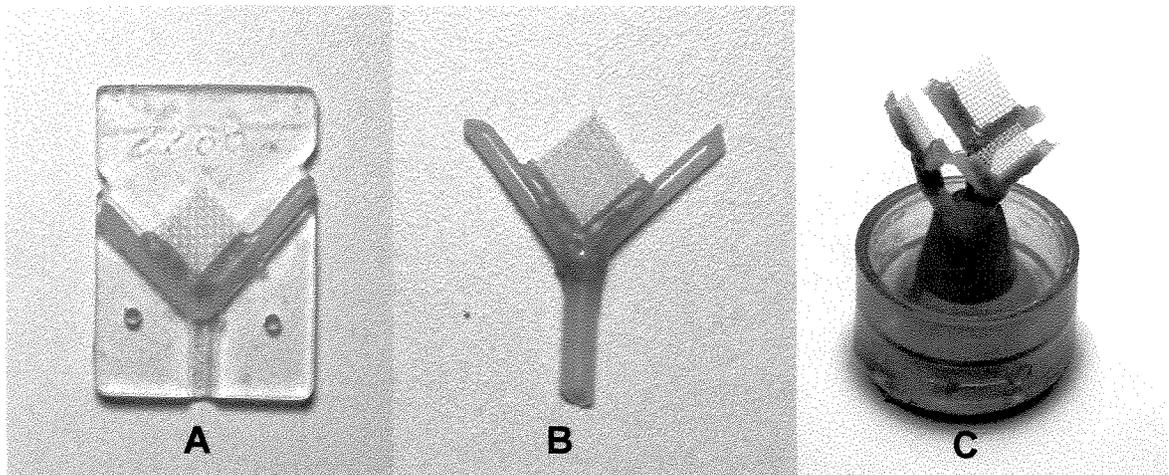


Figura 1 – A) Fixação da tela; B) Pino formador do canal de alimentação; C) Corpos-de-prova fixados na base formadora do cadinho.

4.2.1.2 - ANÁLISE DE DUREZA:

Os corpos-de-prova metálicos foram obtidos por meio da técnica da cera perdida, empregando-se cera azul regular liquefeita num plastificador elétrico (Plaster) à temperatura de 35°C, levada com um conta-gotas até a perfuração central da matriz metálica (Figura 2), com dimensões de 8,0 mm de largura por 2,0 mm de espessura.

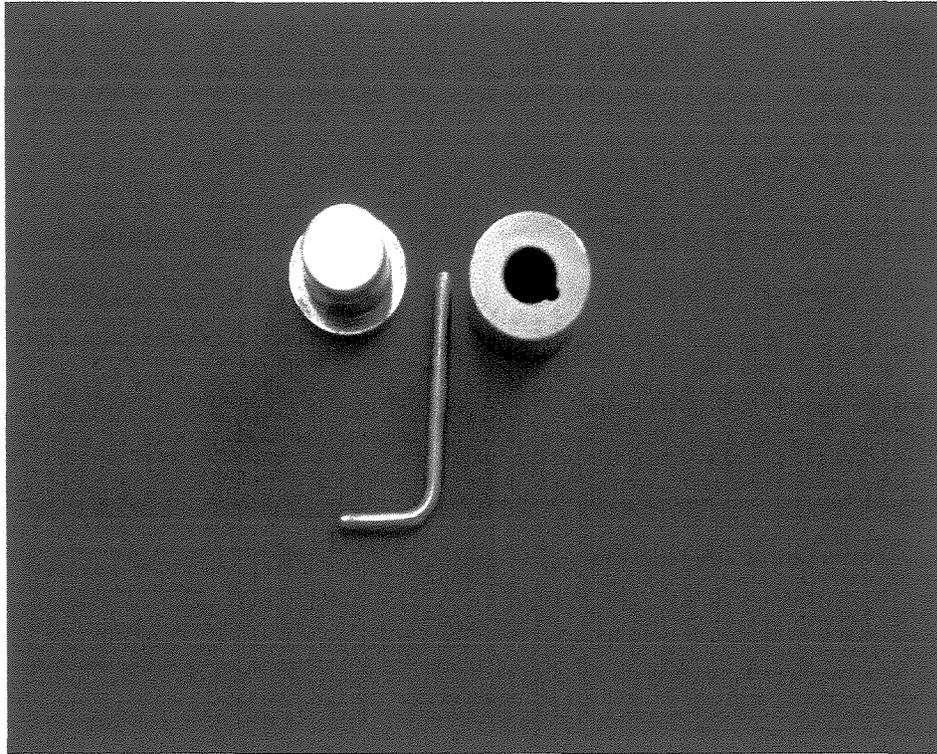


Figura 2 – Matriz metálica para obtenção dos corpos-de-prova para teste de dureza.

Os padrões de cera (Figura 3 A,b) e o pino formador de canal de alimentação de plástico com diâmetro de 3,5 mm (Figura 3 A,a) foram unidos (Figura 3 B), e fixados em uma base formadora de cadinho. Três corpos-de-prova foram fixados paralelos entre si e a distância da base à câmara de reserva de cada corpo-de-prova era de 0,5 cm (Figura 3 C).

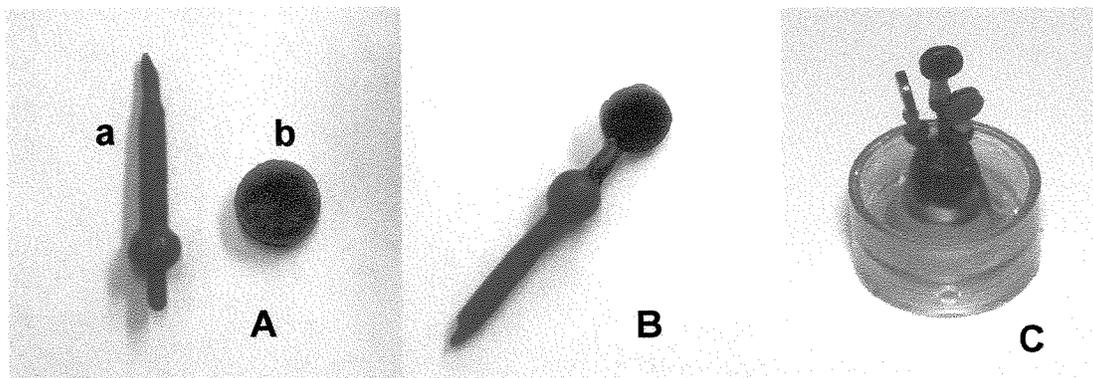


Figura 3 – A) Pino formador do canal de alimentação(a) e padrão em cera (b); B) Fixação do pino; C) Corpos-de-prova fixados no cadinho.

4.2.2 - INCLUSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Antes de incluir em revestimento, uma solução redutora de tensão de superfície (Excelsior – SSW) foi aplicada nos padrões de cera com um pincel nº 3. A solução foi utilizada para reduzir a tensão de superfície e remover substâncias gordurosas, com a finalidade de permitir maior contato com o revestimento. Uma vez aplicada a solução, os padrões foram deixados sobre bancada, para evaporação do excesso e secagem do redutor de tensão de superfície.

Para a inclusão dos padrões foi utilizado o revestimento aglutinado por fosfato Thermocast – POLIDENTAL (Figura 4 A), de acordo com as orientações do fabricante, quanto à proporção pó/líquido (16g/100ml) e tempo de manipulação. O revestimento foi inicialmente espatulado manualmente por 1 minuto e posteriormente manipulado a vácuo (POLIDENTAL) por mais 1 minuto (Figura 4 B) (AFONSO & CARVALHO, 2000). Com auxílio de um pincel, o revestimento foi

aplicado sobre os padrões e o restante da massa foi vertida sob vibração no anel de silicone até o completo preenchimento (FERNANDES, *et al.*,2002). Após, o anel permaneceu em repouso em bancada por 24 horas.

Decorrido esse prazo, as bases formadoras de cadinho e o anel de silicone foram removidos e o revestimento com o padrão incluído foi colocado no forno elétrico – EDG (Figura 5).

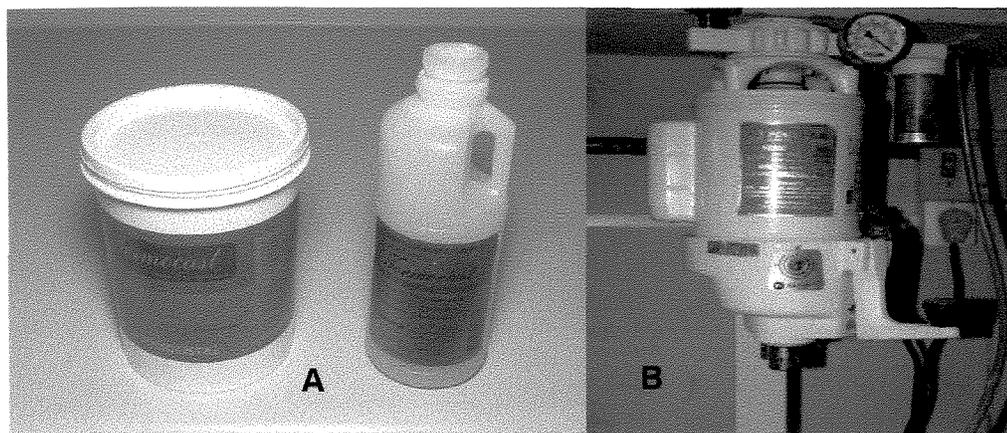


Figura 4 – A)Revestimento Thermocast – Polidental; B) Manipulador à vácuo – Polidental.

4.2.3 – AQUECIMENTO DOS ANÉIS

O aquecimento inicial do cilindro de revestimento ocorreu com o pirômetro ajustado a 300°C, permanecendo nesta temperatura por 30 minutos, elevada para 600°C, onde permaneceu também por 30 minutos. Em seguida, a temperatura do forno foi aumentada para 700°, 800° e 900°C (ASGAR, 1977) e mantida a essa última temperatura até o momento da injeção do metal liquefeito.

Quando da utilização da fonte de calor maçarico gás oxigênio/acetileno, o cadinho também foi aquecido no forno para facilitar a fusão da liga.



Figura 5 – Forno elétrico EDG.

4.2.4 – FUSÃO DA LIGA:

Os aquecimentos por maçarico gás oxigênio/acetileno e por indução em máquina elétrica foram empregados como fontes de calor para a fusão da liga metálica. Em cada tipo de fusão, a liga liquefeita foi injetada nos moldes de revestimento por força centrífuga, de acordo com a técnica para fundição odontológica pelo processo da cera perdida.

4.2.4.1 – MAÇARICO GÁS OXIGÊNIO/ACETILENO

Para fusão das liga de Ni/Cr, o maçarico de oxigênio/acetileno foi utilizado de modo que fornecesse uma chama com temperatura adequada, caracterizada pela coloração azul (Figura 6 A). Deste modo, alcançada a temperatura de aquecimento do anel de revestimento, a máquina centrífuga (DEGUSSA) (Figura 6 B) foi ajustada em 4500 rpm e o cadinho aquecido colocado no suporte. Após a colocação da liga no cadinho, a zona redutora da chama do maçarico foi posicionada para a fusão da liga, momento em que o anel era removido do forno, colocado em posição e a máquina acionada para promover a injeção da liga no interior do molde.

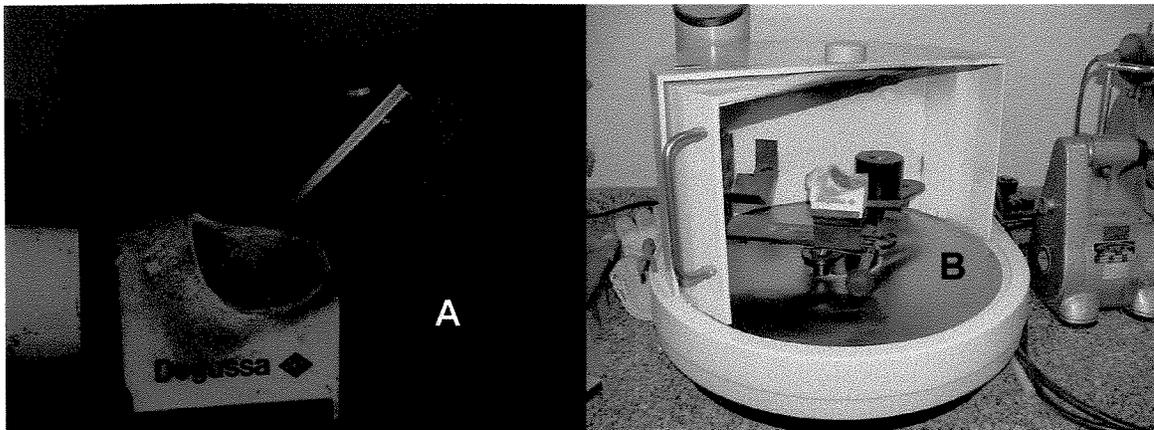


Figura 6 – A) Chama do maçarico oxigênio/acetileno; B) Centrífuga elétrica – DEGUSSA.

4.2.4.2 – AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

A temperatura da máquina de indução foi ajustada em 1370°C. No cacinho cerâmico (Figura 7 B) foram colocados “três botões” (aproximadamente 15 gramas), iniciando-se o aquecimento da liga. O cilindro de revestimento era colocado no suporte quando a temperatura atingia 1370°C, e a centrífuga elétrica (Figura 7 A) era acionada, promovendo a injeção da liga fundida no molde de revestimento. Após a injeção da liga, o cilindro de revestimento era deixado sobre a bancada até que esfriasse à temperatura ambiente.

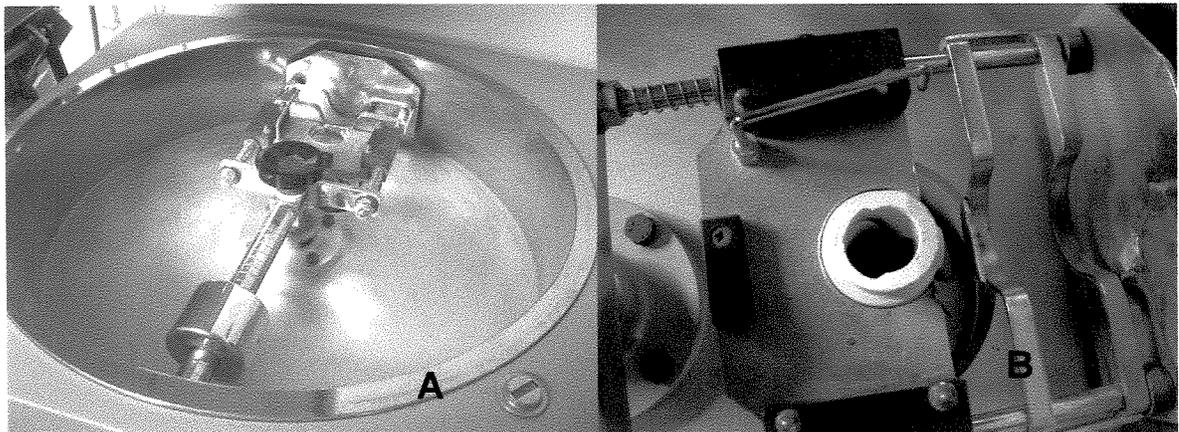


Figura 7 – A) Centrífuga elétrica; B) Cacinho cerâmico sobre a bobina eletromagnética.

A quantidade de liga pura utilizada foi 15 gramas, uma vez que cada “botão” de liga pura pesava de 4,7 a 5,2 gramas. Quando a liga foi utilizada na condição de refundida e mista, sobras da primeira fusão eram fracionadas e utilizadas na mesma proporção em peso da liga pura. Na condição mista, cerca de

7,5 gramas de sobra eram utilizadas juntamente com 7,5 gramas de liga nova. Todos os procedimentos para refusão foram realizados da mesma maneira quando da utilização da liga nova.

4.2.5 – OBTENÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Uma vez terminada a fundição, o anel era removido da centrífuga e deixado sobre a bancada até que atingisse a temperatura ambiente o que ocorria em aproximadamente 1 hora. A desinclusão do corpo-de-prova era feita após o anel estar totalmente frio, procedendo-se a limpeza das peças fundidas com jatos de areia e ultrassom com água por 5 minutos.

4.2.6 – ANÁLISE DAS FUNDIÇÕES

Para a análise da fusibilidade foi realizada a contagem do número de espaços preenchidos pela liga na peça metálica fundida (Figura 8 A), com o auxílio de um microscópio óptico – CARL-ZEISS, com aumento de 16 vezes. Para a análise da dureza, as pastilhas (Figura 8 B) foram incluídas em tubos de PVC preenchidos com resina acrílica e polidos com lixas de carboneto de silício de granulação decrescente (80, 120, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200), em politriz elétrica refrigerada com água corrente.

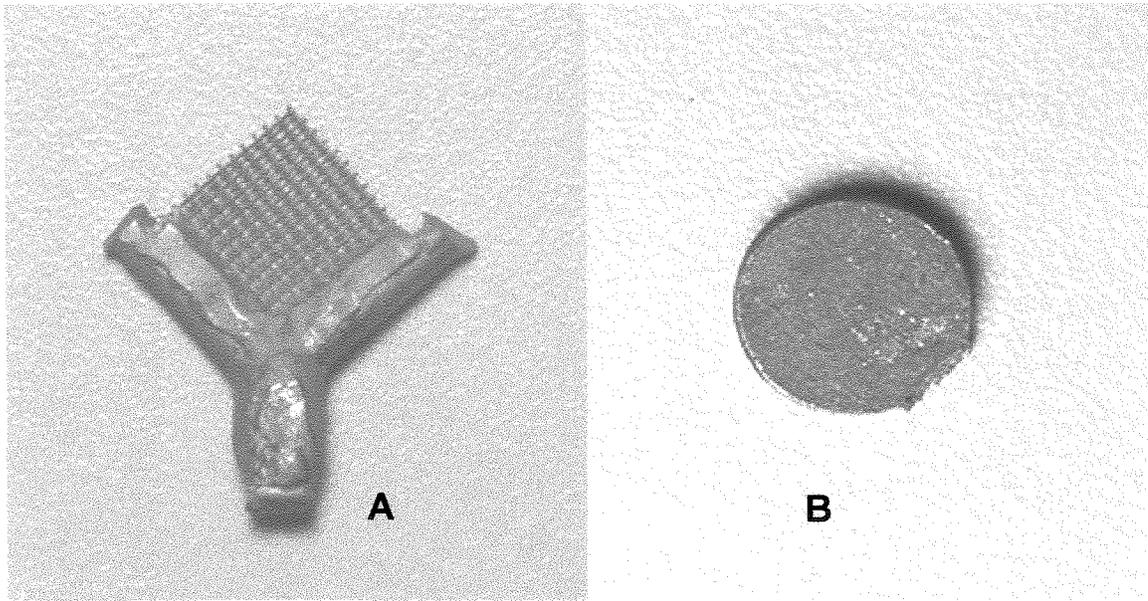


Figura 8 – A) Peças metálicas fundidas;B) Corpo-de-prova metálico para o teste de dureza.

4.2.6.1– Fusibilidade

A fusibilidade da liga foi avaliada pela determinação dos números de espaços completos presentes na peça fundida de acordo com o seguinte critério: 100 espaços preenchidos correspondiam a 100%, 80 espaços preenchidos correspondiam a 80%, e assim sucessivamente.

4.2.6.2 – Dureza

Utilizando um aparelho de dureza Testor HTI Super-Panambra (Figura 9 A), com ponta ativa esférica com diâmetro de 0,14 cm (1/16") (Figura 9 B) e de acordo com os padrões de medição sugeridos por VIEIRA (1967), foram feitas as medidas da dureza Rockwell 30T. Após a colocação dos corpos-de-prova sobre o suporte próprio do aparelho foi aplicada uma carga de 3 kgf, a qual resultou em uma impressão inicial sobre a superfície. Em seguida à aplicação da pré-carga, o registrador do aparelho foi zerado e a carga final de 30 kgf aplicada. Após 15 segundos foi feito o registro da leitura final no mostrador do aparelho, para calcular a diferença entre a carga final e a inicial.

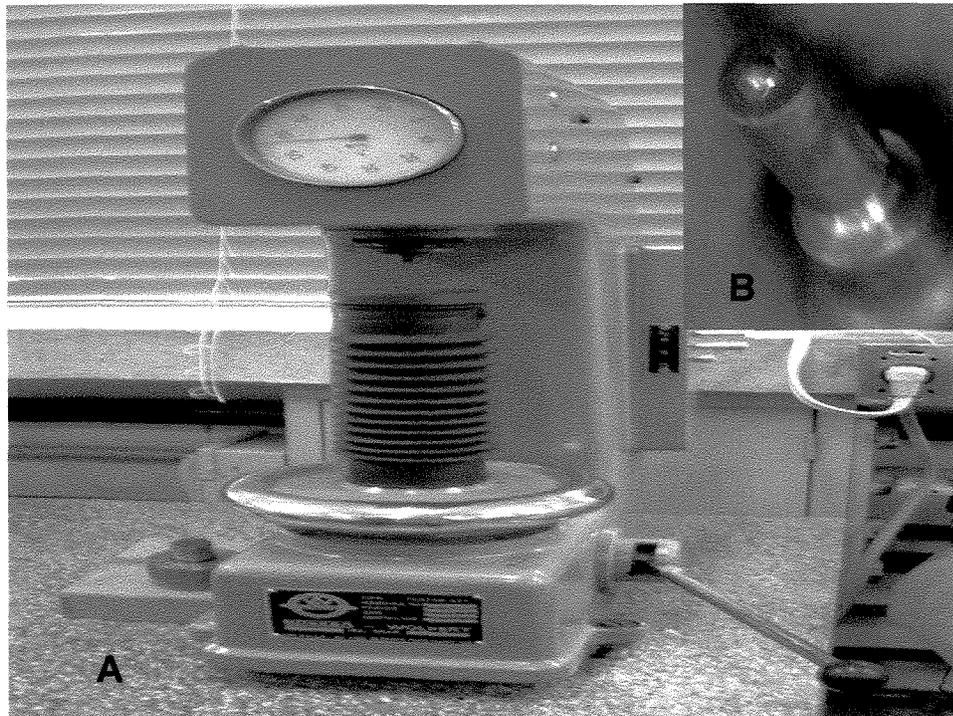


Figura 9 – A) Aparelho de dureza Testor HTI Super-Panambra; B) Ponta ativa utilizada para o teste de dureza.

Realizaram-se 5 medidas em diferentes sítios da região central de cada um dos corpos-de-prova. Pela média dessas medidas foi obtida a dureza superfície Rockwell 30T (NDSR 30N) referente a cada corpo-de-prova. Foram obtidas 5 medidas para cada corpo-de-prova (Figura 10).

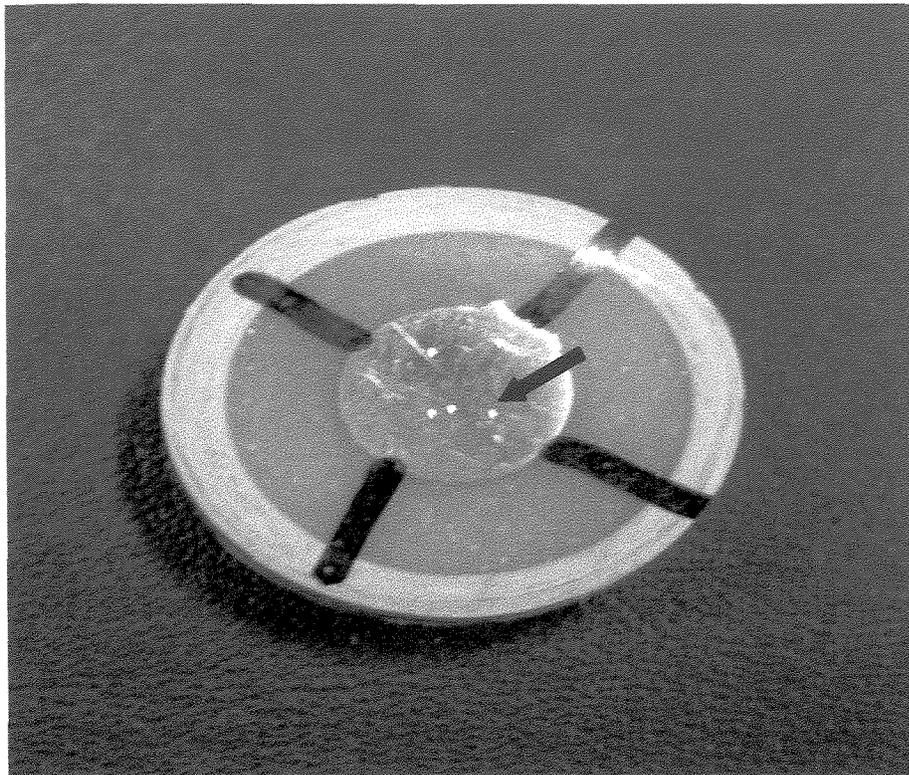


Figura 10 – Impressões da ponta ativa no corpo-de-prova (seta).

5. RESULTADOS

A análise de variância dos resultados foi aplicada para verificar as possíveis diferenças significativas ou não entre os tratamentos. Foi feita a comparação do comportamento das diferentes combinações da liga utilizando a mesma fonte de calor e a comparação do comportamento das diferentes combinações da liga em relação a cada fonte de calor, aplicando o teste de Tukey (5%).

A análise dos resultados demonstrou que as fontes de calor de fundição atuando em cada condição da liga promoveram resultados com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$); nos quais o aquecimento por indução apresentou os melhores resultados de fusibilidade.

Não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) quando a mesma fonte de calor foi utilizada para a fusão das diferentes combinações da liga. Porém, quando se comparou a fusão das ligas entre as fontes de calor, verificou-se que houve diferença estatística significativa; na qual o aquecimento por indução demonstrou resultados estaticamente superiores aos encontrados para o maçarico (Tabela 1 e Figura 11).

TABELA 1 – Valores médios de fusibilidade nos aquecimentos por indução ou maçarico oxigênio-acetileno nas diferentes combinações da liga.

Liga	Maçarico	Indução
Nova	83,3 a, A	98,6 a, B
Mista	74,2 a, A	98,3 a, B
Refundida	80,3 a, A	97,7 a, B

*Valores seguidos de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúscula na linha diferem estatisticamente entre si, em nível de 5%, pelo teste de Tukey.

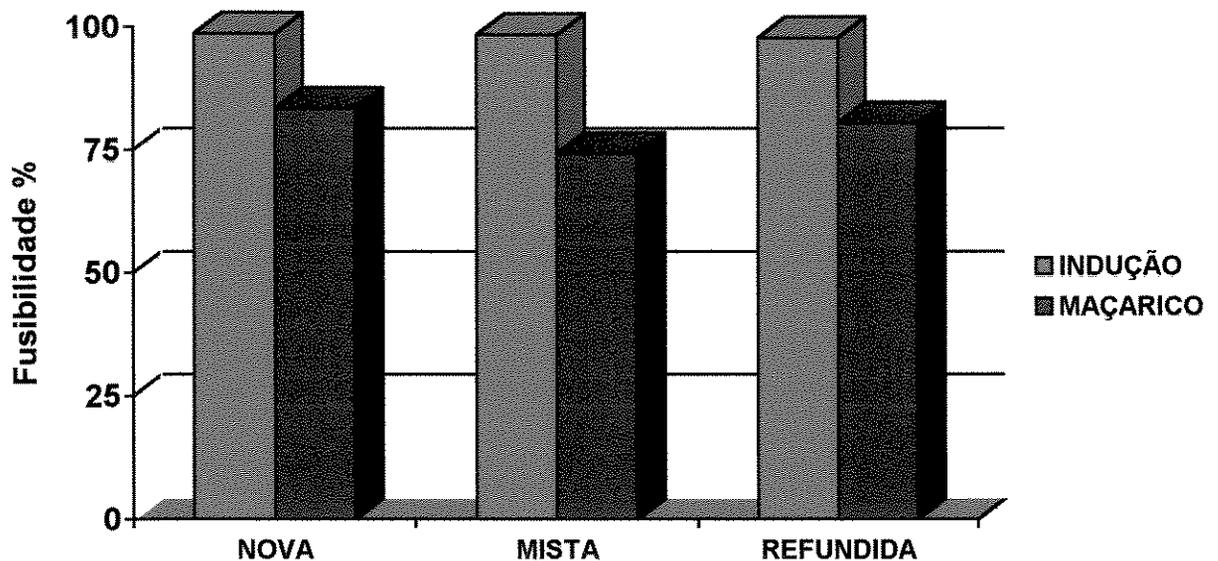


FIGURA 11 – Ilustração gráfica dos valores médios de fusibilidade para cada condição da liga, em relação a cada fonte de calor.

Para a análise da dureza, o aquecimento com maçarico promoveu menor dureza para a liga na condição refundida, com valores com diferença estatística significativa comparada às condições pura e mista, estes sem diferença estatística significativa entre si (Tabela 2 e Figura 12). Entretanto, o

aquecimento por indução demonstrou uniformidade dos valores médios de dureza entre as ligas utilizadas, não havendo diferença estatística significativa em nível de 5%.

Não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre fontes de calor para as condições de ligas nova e mista, enquanto na refundida o menor valor de dureza foi apresentado pela fonte maçarico, com diferença estatística significativa em relação à fonte por indução.

TABELA 2 – Valores médios de dureza superficial Rockwell para as fonte de calor na fusão das diferentes condições da liga.

Liga	Maçarico	Indução
Nova	85,9 a, A	87,2 a, A
Mista	87,2 a, A	86,1 a, A
Refundida	76,9 b, A	85,3 a, B

*Valores seguidos de letras distintas, minúsculas na coluna e maiúscula em linha diferem estatisticamente entre si, em nível de 5%, pelo teste de Tukey.

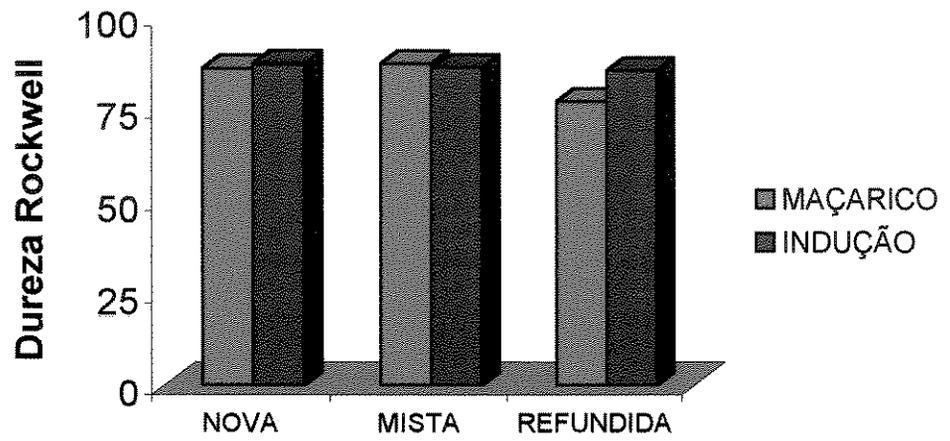


FIGURA 12 – Ilustração gráfica dos valores médios de dureza das diferentes combinações da liga quando utilizadas as diferentes fontes de calor.

6 - DISCUSSÃO

Os profissionais de Odontologia utilizam fundições confeccionadas pelo método da cera perdida para obter peças metálicas suficientemente ajustadas às cavidades preparadas. Tal processo consiste na confecção de um padrão para fundição em um material fácil de ser esculpido no troquel e passível de ser eliminado por queima, quase sem deixar resíduos (ASGAR, 1969), sendo que geralmente esse material é a cera ou a resina acrílica.

A fonte de calor utilizada para a fusão da liga tem sido relatada por muitos autores como uma das causadoras de falhas na peça final, uma vez que há diferença de temperatura entre a liga fundida e o interior do molde de revestimento. Assim, um aquecimento inadequado irá reduzir o escoamento da liga fazendo que esta se solidifique prematuramente no interior do molde. As fontes de calor utilizadas para fusão de ligas odontológicas são basicamente aquecimento por resistência elétrica ou chama do maçarico. A utilização do maçarico é mais difundida por não necessitar de equipamentos sofisticados, o que torna o custo final do trabalho protético menor. Porém, segundo vários autores (HARCOUT, 1962; ASGAR & ALLAN, 1968; LEWIS *et al.*, 1975; BOMBONATTI *et al.*, 1988), esta fonte de calor pode promover alterações na composição e, conseqüentemente, nas propriedades da liga.

No presente trabalho foram encontradas diferenças de fluidez entre as condições da mesma liga estudada (Tabela 1 e Figura 11). A desigualdade de comportamento existente na fluidez da liga do sistema níquel-cromo foi devido aos métodos de fusão empregados, pois no aquecimento por indução e centrífuga elétrica, a temperatura de fusão foi controlada, o que não ocorreu quando se utilizou aquecimento pelo método de chama de maçarico oxigênio-acetileno e centrífuga comum.

O método resistência elétrica resultou na maior média de fusibilidade, sendo diferente estatisticamente (5%) da fonte oxigênio-acetileno. A diferença estatística encontrada entre os valores obtidos pelas fontes de aquecimento por indução e maçarico, ocorreu, provavelmente, devido ao diferente procedimento técnico de fusão da liga. A máquina de fundição de resistência elétrica possibilita regulação da temperatura em aproximadamente 1370°C, aquecimento acima da zona de fusão da liga. Por outro lado, a regulação do maçarico no método oxigênio-acetileno é empírica (EARNSHAW, 1956) e, apesar de ter fornecido calor suficiente para a fusão das ligas, não foi nas mesmas condições apresentada pela resistência elétrica, o que teria alterado a viscosidade da liga fundida.

Segundo CRAIG (1980), o aquecimento intenso ou prolongado durante a fusão da liga é prejudicial, pois poderá provocar evaporação de alguns componentes. Este fato é importante durante o emprego do maçarico, onde a quantidade de calor da chama não pode ser suficientemente controlada. Assim, o

tempo decorrido e/ou o excesso de calor fornecido pela chama acetileno-oxigênio promoveria a volatilização de alguns componentes da liga, com pontos de fusão mais baixos, alterando a viscosidade e dificultando a injeção da liga (STRANDMAN & GLANTZ, 1976).

Nossos resultados mostraram que a técnica de fusão tem influência sobre a fluidez, obtendo-se maior fluidez quando se emprega o conjunto indução e centrífuga elétrica, em relação àqueles obtidos quando do uso de uma centrífuga comum com chama oxigênio-acetileno. Estes resultados concordam com as observações de SCARANELO *et al.* (1990) quando verificaram que a utilização da chama alterava significativamente os valores da fluidez em comparação com aqueles obtidos com emprego do aquecimento por indução, que promovia um aquecimento mais uniforme em toda a porção da liga a ser fundida, fazendo com que a viscosidade fosse adequada para injeção no molde. Assim, a utilização da centrífuga elétrica permite o controle da quantidade de calor fornecido à liga, o que não ocorreu durante o uso da chama, o que possibilitou a superioridade desta técnica, na obtenção da fluidez nas três condições da liga. Porém, estes achados estão em desacordo com HARCOURT & COTTERILL (1965), quando verificaram que somente com temperatura controlada em ambiente inerte, os resultados obtidos com fundição por indução seriam superiores aos obtidos com o método de fundição com chama.

Na condição bruto de fusão, a dureza das ligas de cobre foi maior do que após a fusão (BOMBONATTI *et al.*, 1990). Este tipo de comportamento já fora relatado por SANTOS & MIRANDA (1981) e por COMERIO (1987), quando estudaram ligas de níquel-cromo, embora WALD & COCKS (1971) não tenham observado nenhuma alteração crítica em relação aos valores de dureza, em consequência da fusão. Provavelmente, a diminuição da dureza poderia ser explicada com base nos tipos diferentes de estruturas existentes nas ligas antes e após a fusão (ASGAR & ALLAN, 1968; LEWIS *et al.*, 1975b).

A prática de se reutilizar ligas que sofreram fusões prévias é comum em Odontologia (TAYLOR & HANSON, 1960). Para PHILLIPS (1993a), as ligas de ouro podem sofrer de 2 a 3 fusões antes que ocorram alterações na composição prejudiciais às suas propriedades. MOSLEH *et al.* (1995) não encontraram mudanças nos valores de fusibilidade nas ligas para metalocerâmica quando estas foram refundidas, utilizando liga nova e previamente fundida na proporção de 50:50 em peso. BOMBONATTI *et al.* (1988) verificaram que as fusões sucessivas das ligas de cobre-alumínio, em até quatro vezes, não interferiam na fluidez. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por HESBY *et al.* (1980) que, embora trabalhando com ligas de cobalto-cromo, não encontraram alterações nas propriedades mecânicas estudadas após quatro fusões sucessivas, quando fundiam a liga em centrífuga elétrica. Porém, HARCOURT (1962) e LEWIS *et al.* (1975) observaram que o excesso de refundições desse tipo de liga promovia

alterações nas suas composições e, conseqüentemente, nas propriedades físicas e estruturais.

A análise dos resultados demonstrou que não houve diferença estatística significativa nos valores médios de dureza quando se utilizou a fonte de calor maçarico ou aquecimento por indução para a fusão das ligas pura e mista (Tabela 2 e Figura 12). Porém, a utilização do aquecimento por indução demonstrou melhores resultados que o maçarico, diferindo estatisticamente entre si os valores médios de dureza, quando da utilização da liga refundida, o que está em desacordo com VERONESI *et al.* (1992), quando verificaram que a formação cristalina das ligas de cobre-alumínio era facilmente influenciada pelo método de fusão utilizado na fundição dessas ligas. STOLF (1993) afirmou que a dureza superficial para cada tratamento (liga nova, fundida, refundida com 50% de liga nova e refundida sem acréscimo de liga nova) não apresentava uma coerência de resultados entre ligas, sugerindo que essas ligas alternativas não apresentavam homogeneidade ou eram facilmente influenciáveis pelo processo de fundição, o que está em desacordo com os achados de LEWIS *et al.* (1975a), que verificaram que a dureza era influenciada pelo número de vezes que a liga era refundida, como também pelo método utilizado para fundição.

As maiores médias de dureza foram obtidas com a utilização da fonte de calor maçarico oxigênio/acetileno para a fusão da liga refundida, sem acréscimo de liga nova. Entretanto, quando a liga nova foi comparada com a liga

refundida acrescida de liga nova, com ambas fontes de calor, não houve diferença estatística significativa, o que concorda com os resultados de SILVA FILHO *et al.* (1988), quando verificaram que a chama e a centrífuga elétrica não influenciavam na dureza das ligas.

A uniformidade estatística entre os valores médios de dureza quando foi utilizado aquecimento por indução, independente das condições de fusão da liga utilizada, demonstra que houve melhor controle técnico quando se utilizou a referida fonte, pois não houve diferença estatística significativa entre as variáveis. BOMBONATTI *et al.* (1990) observaram que a fusão na centrífuga elétrica proporcionava valores de dureza inferiores àqueles promovidos pela centrífuga comum, com chama de maçarico. Estes resultados poderiam ser explicados levando-se em consideração que durante a fusão com maçarico, maior quantidade de óxidos poderia ser absorvida pela liga líquida. Assim, ao se solidificar, estes óxidos atuariam como elementos endurecedores da liga, proporcionando, valores de dureza maiores que aqueles obtidos quando do emprego da centrífuga elétrica, onde a fusão se processaria sem formação e incorporação de óxidos. Convém salientar ainda que estes resultados estão em desacordo com os obtidos por SILVA FILHO (1983) e por VERONESI *et al.* (1992), que observaram que os métodos de fusão apresentaram efeitos iguais sobre a dureza.

Quanto à fusibilidade, pode-se inferir que as condições das ligas não teriam significado clínico negativo, entretanto, a indução promoveria melhores

condições de fusibilidade influenciando, provavelmente, o nível de adaptação da peça protética.

A dureza seria influenciada negativamente na condição refundida (100%), com utilização da fonte de calor de fundição maçarico oxigênio/acetileno.

7 - CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos e discutidos foi-nos possível concluir que:

- A fusibilidade da liga foi influenciada pela fonte de calor, sendo que os melhores resultados foram obtidos com aquecimento por indução.
- Quando as diferentes combinações das ligas foram analisadas, o aquecimento por indução e maçarico não apresentou diferença estatística significativa nos valores de fusibilidade.
- Quando a liga foi utilizada nas condições pura e mista, os valores médios de dureza não diferiram estatisticamente entre as fontes de calor de fundição. Entretanto, na condição refundida, a fonte de calor maçarico promoveu menor valor médio de dureza com diferença estatística significativa quando comparada à fonte de calor por indução.
- A liga refundida sem acréscimo de liga nova fundida com maçarico apresentou menor valor médio de dureza com diferença estatística significativa em relação às condições nova e mista, estas sem diferenças estatísticas significativas entre si. A fundição por indução promoveu resultados sem diferenças estatísticas significativas entre as condições das ligas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

- AFONSO, T. S.; CARVALHO, J. C. – Influência de técnicas de inclusão na fluidez de ligas à base de cobre. **Rev. Esc. Odontol. Alfenas**, Alfenas, v. 22, p. 15-19, Jan/Dez 2000.
- ASGAR, K. – Melting and casting alloys. In: Alternatives to gold alloys in dentistry. Michigan, 1977. Proceedings. p. 166-185.
- ASGAR, K. & ALLAN, F. C. – Microstructure and physical properties of alloys for partial denture castings. **J. Dent. Res.**, v. 47, n. 2, p. 189-197, Mar/Apr. 1968.
- ASGAR, K. *et al.* – Effect of casting conditions on physical properties of some experimental partial denture alloys. **J. Biomed. Mater. Res.**, v. 3, p. 409-23, Sept. 1969.
- BARRETO, M.T.; GOLDBERG, A.J.; NITKIN, D.A.; MUMFORD, G. – Effect of investment on casting high-fusing alloys. **J. Prosthet. Dent.**, v. 44, n. 5, p. 504-507, 1980.
- BARTON Jr., J.A.; EICK, J.D. – Comparison of Brinell and Vickers hardness test on dental casting gold alloys. **J. Dent. Res.**, v. 52, n. 1, p. 163-169, Feb. 1973.
- BEZZON, O .L. *et al* – Effect of beryllium on the castability and resistance of ceramometal bonds in nickel-chromium alloys. **J. Prosthet. Dent.**, v. 80, n. 5, p. 570-4, Nov. 1998.

*De acordo com a NBR-6023 de ago. de 2000, da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT).
Abreviaturas de periódicos em conformidade com o MEDLINE.

- BEZZON, O. L. *et al* – Castability and resistance of ceramometal bonding in Ni-Cr and Ni-Cr-Be alloys. **J. Prosthet. Dent.**, v. 85, n. 3, p. 299-304, Mar. 2001
- BOMBONATTI, P. E., *et al.* – Fluidez de ligas de cobre-alumínio em função do aquecimento acima da temperatura de fusão. **Rev. Odont. UNESP**, São Paulo, v. 14, n. ½, p. 119-123, 1985.
- BOMBONATTI, P.E.; BARROS, L.E.; SCARANELO, R.M.; PELLIZZER, A.J. – Influência da refusão sobre a fluidez de ligas de cobre-alumínio. **Rev. Odont. UNESP**, São Paulo, v.17,n.1/2, p.169-173, 1988.
- BOMBONATTI, P. E. *et al* – Determinação da dureza de ligas de cobre na forma como são recebidas e após a fundição, em função das técnicas de fusão. **Rev. Odont. UNESP**, São Paulo, v. 19, p. 217-226, 1990.
- BROCKHURST, P. J., *et al* – A castability standard for alloys used in restorative dentistry. **Operative Dent.**, v. 8, n. 4, p. 130-139, 1983.
- CHERN LIN, J.H.; CHEN, Y.F.; JU, C.P. – Effect of nickel addition on microstructure and properties of Ti-Co-Ni alloys. **Biomaterials**, v. 16, n. 18, p. 1401-7, Dec. 1995.
- COMERIO, C. – **Estudo das propriedades das ligas para metalocerâmica – Dureza superficial**. Piracicaba, Fac. Odont. Piracicaba – UNICAMP, 1987 (Tese – Mestrado)
- CRAIG, R. G. – **Restorative Dental Materials**, 6ª ed., St. Louis, Mosby, 1980.
- EAMES, W.B. & MACNAMARA, J. F. – Evaluation of casting machines for ability to cast sharp margins. **Operative Dentistry**, v. 3, n. 4, p. 137-141, 1978.
- EARNSHAW, R. – Cobalt-chromium alloys in dentistry. **Br. Dent. J.**, v. 101, n. 3, p. 67-75, Aug. 1956.

- FERNANDES, D. R. *et al.* – **Fundibilidade de ligas odontológicas utilizando dois ambientes para inclusão: anel metálico e anel de silicone.** Ver. ABO Nac., v. 9, n. 6, p. 341-6. Dez. 2001/Jan. 2002.
- HARCOURT, H. J. – The remelting of cobalt-chromium alloys. **Br. Dent. J.**, v. 112, p. 198- 204, Mar. 1962.
- HARCOURT, H. J. & COTTERILL, W. F. – Induction melting of cobalt-chromium alloys. A comparison with flame melting. **Br. Dent. J.**, v. 118, n. 8, p. 323-329, Apr. 1965.
- HERO, H. – Effects of casting temperature on some properties of Co-Cr-Mo dental casting alloys. **Acta Odontol. Scand**, v. 42, p. 372-377, 1984.
- HESBY, D. A. *et al.* – Physical properties of a repeatedly used non precious metal alloys. **J. Prosth. Dent.**, v. 44, n. 3, p. 291-293, Sept. 1980.
- HOWARD, W. S. *et al.* – Castability of low gold content alloys. **J. Dent. Res.**, v. 59, n. 5, p. 824-830, May. 1980.
- JOHNSON, A.; WINSTANLEY, R.B. – The evaluation of factors affecting the castability of metal ceramic alloy – investment combinations. **Int. J. Prosthodont**, v. 9, n. 1, p. 74-8, Jan.-Feb. 1996.
- LACEFIELD, W. R. *et al.* – Castability of selected crown and bridge alloys. **J. Dent. Res.**, v. 62, Mar. 1983.
- LEWIS, A. J. – Changes in the composition of a nickel base partial denture casting alloy upon fusion and casting. **Aust. Dent. J.**, v. 20, n. 1, p. 14-18, 1975a.
- LEWIS, A. J. *et al.* – Metallography changes and phase identification in a nickel base alloy upon fusion and casting. **Aust. Dent. J.**, v.20, n.6, p.378-383, Dec. 1975b.

LEWIS, A. J. *et al.* – The effects of remelting on the mechanical properties of a nickel base partial denture casting alloy. **Aust. Dent. J.**, v.20, n.2, p.89-93, 1975c.

MORRIS, H. F. *et al.* – Casting alloys: the materials and clinical effects. **Adv. Dent. Res.**, v. 6, p. 28-31, Sept. 1992.

MOSLEH, I.; ABDUL-GABBAR, F.; FARGHALY, A. – Castability evaluation and effect of recasting of ceramo-metal alloys. **Egypt Dent. J.**, v. 41, n. 4, p. 135-62, 1995.

PANZERI, H. *et al.* – Verificação da composição, dureza e da expansão térmica de uma liga à base de prata-estanho. **Rev. Assoc. Paul. Cir. Dent.**, v.34, n.3, p. 248-253, Mai/Jun 1980.

PHILLBROOK, D. – Cast fillings. Iowa State Dent. Soc. Trans., p. 277-279, 1897.

PHILLIPS, R. W. – Ligas para fundição Odontológicas In:_____. Skinner Materiais Dentários. 9ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993a, p. 208-22 .

PHILLIPS, R. W. – Corrosão. In:_____. Skinner Materiais Dentários. 9ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1993b, 170-175.

PRESSWOOD, R. G. – The castability of alloys for small casting. **J. Prosth. Dent.**, v. 50, n. 1, p. 36-39, July 1983.

RIBEIRO, R. F. – **Avaliação de alguns efeitos de refunções sobre ligas de cobalto-cromo, acrescidas ou não de liga virgem.** Ribeirão Preto, 173 p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Odontologia de ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

RIEGER, M. R.; TANQUIST, R. A .; VAINER, S. The effect of a new sprue design on the castability of a base-metal alloy. **J. Prosth. Dent.**, v. 55, n. 6, p. 686-690, June 1986.

SANTOS, J. F. F. & MIRANDA, M. F. – Propriedades de ligas não-preciosas para metalocerâmica. **Rev. Ass. Paul. Cirurg. Dent.**, n. 35, p. 265-271, 1981.

SCARANELO, M. R.; BOMBONATTI, P. E.; BARROS, L. E.; PELLIZZER, A. J. – Efeito das técnicas de fusão sobre a fluidez de ligas do sistema cobre-alumínio. **Rev. Odont. UNESP**, São Paulo, v. 19, p. 211-219, 1990.

SILVA FILHO, F. P. – **Ligas do sistema cobre-alumínio. Efeito de ligas, técnicas de fusão e tratamentos térmicos na contração de fundição e dureza. Efeito de tipos cavitários e técnicas de fundição no desajuste cervical.** Araraquara, 1983, 96 p. Tese (Livre Docência) – Fac. Odont. Universidade Estadual de São Paulo.

SILVA FILHO, F. P. *et al.* – Ligas do sistema cobre-alumínio. Estudo da contração de fundição e dureza Vickers. Efeito de técnicas de fusão e tratamento térmico. **Odont. Clin.**, n. 2, p. 15-19, 1988.

SOUZA, Jr. *et al.* – Estudo da fluidez de ligas de metais básicos para metalocerâmica: efeito de fonte de calor e tipo de liga metálica. **Revista Brasileira de Prótese Clínica & Laboratorial** – Ano 3, v. 3, n. 1, Jan/Fev. 2001.

STOLF, W. L. – **Estudo de ligas metálicas alternativas empregadas na odontologia. Análise química qualitativa e quantitativa, dureza superficial, manchas e corrosão.** Tese (Livre-docência) - Faculdade de Odontologia de Piracicaba, UNICAMP, 1993.

STRANDMAN, E. & GLANTZ, P. – On the characteristics of acetilene/oxygen flames used in dental casting. **Odont. Rev.**, v. 27, n. 3, p. 197-222, Mar. 1976.

TAGGART, W. H. – A new and accurate method of making gold inlays. **Dent Cosmos**, v. 49, n. 11, p. 1117-1121, Nov. 1907.

TAYLOR, D.F.; HANSON, J.G. – The effect of remelting on mechanical properties of a nickel base partial denture casting alloy. **J. Dent. Res.**, v. 39, n. 4, p. 763-764, Jul/Ag 1960.

VERONESI, G.S.; CONSANI, S.; RUHNKE, L.A. – The influence of casting methods the surface microhardness and crystalline formation of aluminum-copper alloys. **J. Prost. Dent.** Saint Louis, v. 67, n.1 , p. 26-29, Jan. 1992.

VIEIRA, D. F. – Metais e ligas: noções básicas para dentistas. 2ª ed., São Paulo: Blucher, 1967.

VINCENT, P.F. *et al.* – A comparison of the casting ability of precious and nonprecious alloys for porcelain veneering. **J. Prosth. Dent.**, v. 37, n. 5, p. 527-536, May 1977.

WALD, F. V. & COCK, F. H. – Investigation of copper-manganese-nickel alloys for dental purposes. **J. Dent. Res.**, v. 1, n. 50, p. 48-49, 1971.

WIGHT, T. A. *et al.* – Evaluation of three variables affecting the casting of base metal alloys. **J. Prosth. Dent.**, v. 43, n.4, p. 415-418, Apr. 1980.

WINKLER, S.; MORRIS, H. F. - Changes in mechanical properties and microstructure following heat treatment of a nickel-chromium base alloy. **J. Prosth. Dent.**, v. 52, n. 6, p. 821-827, Dec. 1984.

YOUDELIS, W. V.; YOUDELIS, R. A. – Silver-copper-germanium alloys. **J. Can. Dent. Ass.**, Toronto, v. 47, n. 2, p. 101-106, Feb. 1981.

YOUNIS, O. – Castability of the new casting alloy systems. **J. Dent. Res.**, v. 56, 1977.

ANEXOS

RESULTADOS ORIGINAIS

TABELA 3 – Valores individuais da fundibilidade dos corpos-de-provada liga na condição nova, utilizando ambas as fontes de calor

Liga Virgem	Maçarico	Indução
1	90	97
2	92	100
3	48	100
4	84	98
5	85	94
6	79	100
7	96	100
8	84	100
9	82	98
10	93	99

TABELA 4 – Valores individuais da fundibilidade dos corpos-de-prova da liga na condição refundida acrescida de liga nova (mista), utilizando ambas as fontes de calor

Liga Mista	Maçarico	Indução
1	78	100
2	75	98
3	76	100
4	81	98
5	77	97
6	38	96
7	83	100
8	79	98
9	81	96
10	74	100

TABELA 5 – Valores individuais da fundibilidade dos corpos-de-prova da liga na condição refundida sem acréscimo de liga nova (refundida), utilizando ambas as fontes de calor

Liga Refundida	Maçarico	Indução
1	79	100
2	89	100
3	72	98
4	75	96
5	78	98
6	100	97
7	66	96
8	69	97
9	88	96
10	87	99

TABELA 6 – Valores individuais da dureza dos corpos-de-prova da liga liga nova, utilizando ambas as fontes de calor

Liga Pura	Maçarico					Indução				
1	82	82	85	86	87	88	85	88	84	88
2	82	86	86	86	88	87	88	88	89	87
3	85	87	87	86	88	87	75	87	88	85
4	82	89	86	87	88	85	87	89	88	88
5	82	88	88	85	89	87	87	88	99	88

TABELA 7 – Valores individuais da dureza dos corpos-de-prova da liga na condição refundida acrescida de liga nova (mista), utilizando ambas as fontes de calor

Liga Mista	Maçarico					Indução				
1	88	86	88	87	88	87	87	88	88	87
2	87	88	88	88	86	85	88	88	87	88
3	89	88	89	89	88	80	82	85	84	86
4	88	89	84	84	81	82	87	87	89	85
5	88	86	88	88	87	85	87	87	87	87

TABELA 8 – Valores individuais da dureza dos corpos-de-prova da liga na condição refundida sem acréscimo de liga nova (refundida), utilizando ambas as fontes de calor

Liga Refundida	Maçarico					Indução				
1	67	64	83	85	84	72	80	81	83	84
2	84	80	79	75	19	93	85	86	88	87
3	86	87	91	88	88	86	88	86	85	87
4	86	88	87	83	76	83	86	86	87	87
5	85	81	38	69	70	87	87	86	86	87

TABELA 9 – Valores médios da dureza dos corpos-de-prova da liga liga nova, utilizando ambas as fontes de calor.

Liga Pura	Maçarico	Indução
1	84,4	86,6
2	85,6	87,8
3	86,6	84,4
4	86,4	87,4
5	86,4	89,8

TABELA 10 – Valores médios da dureza dos corpos-de-prova da liga na condição refundida acrescida de liga nova (mista), utilizando ambas as fontes de calor

Liga Mista	Maçarico	Indução
1	87,4	87,4
2	87,4	87,2
3	88,6	83,4
4	84,8	86,0
5	87,6	86,6

TABELA 11 – Valores médios da dureza dos corpos-de-prova da liga na condição refundida sem acréscimo de liga nova (refundida), utilizando ambas as fontes de calor

Liga Refundida	Maçarico	Indução
1	76,6	80,0
2	67,4	87,8
3	88,0	86,4
4	84,0	85,8
5	68,6	86,6

ANÁLISE ESTATÍSTICA

FUSIBILIDADE:

TABELA 12 – Análise de variância.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Liga	2	223,0333333	111,5166667	1,4135	0,25107
Fundição	1	5377,0666667	5377,0666667	68,1536	0,00001
Lig * Fund	2	211,2333333	105,6166667	1,3387	0,26996
Resíduo	54	4260,4000000	78,8962963		
TOTAL	59	10071,7333333			

Média geral: 88,733330

Coefficiente de variação: 10,010 %

TABELA 13 – Teste de Tukey para médias de liga

Nº Tratamento	Nome	Nº repetições	Médias	5%
3	Virgem	20	90,95	a
1	Refundida	20	89,00	a
2	Mista	20	86,25	a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 14 – Teste de Tukey para médias de liga dentro de indução do fator fundição.

Nome	Nº Repetições	Medias	5%
Virgem	10	98,60	a
Mista	10	98,30	a
Refundida	10	97,70	a

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significancia indicado.

TABELA 15 – Teste de Tukey para médias de liga dentro de maçarico do fator fundição.

Nome	Nº Repetições	Medias	5%
Virgem	10	83,30	a
Mista	10	74,20	a
Refundida	10	80,30	a

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significancia indicado.

TABELA 16 – Teste de Tukey para médias de fundição.

Nome	Nº Repetições	Medias	5%
Indução	30	98,20	a
Maçarico	30	79,26	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nivel de significancia indicado.

TABELA 17 – Teste de Tukey para médias de fundição dentro de refundida do fator liga.

Nome	Nº Repetições	Medias	5%
Indução	10	97,70	a
Maçarico	10	80,30	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nivel de significancia indicado.

TABELA 18 – Teste de Tukey para médias de fundição dentro de mista do fator liga.

Nome	Nº Repetições	Medias	5%
Indução	10	98,30	a
Maçarico	10	74,20	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nivel de significancia indicado.

TABELA 19 – Teste de Tukey para médias de fundição dentro de virgem do fator liga.

Nome	Nº Repetições	Medias	5%
Indução	10	98,60	a
Maçarico	10	83,30	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nivel de significancia indicado.

Dureza:

TABELA 20 – Análise de variância.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob. > F
Liga	2	199,5252343	99,7626172	5,8767	0,00845
Fundição	1	62,7879025	62,7879025	3,6987	0,06340
Lig * Fund	2	120,6721182	60,3360591	3,5542	0,04336
Resíduo	24	407,4214877	16,9758953		
TOTAL	29	790,4067428			

Média geral: 84,766670

Coefficiente de variação: 4,861 %

TABELA 21 – Teste de Tukey médias de liga.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Pura	10	86,53	a
Mista	10	86,64	a
Refundida	10	81,12	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 22 – Teste de Tukey médias de liga dentro de maçarico do fator.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Pura	5	85,87	a
Mista	5	87,16	a
Refundida	5	76,92	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 23 – Teste de Tukey médias de liga dentro de indução do fator.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Pura	5	87,20	a
Mista	5	86,12	a
Refundida	5	85,32	a

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 24 – Teste de Tukey para médias de fundição.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Maçarico	15	83,32	a
Indução	15	86,21	a

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 25 – Teste de Tukey para médias de fundição dentro do fator liga pura.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Maçarico	5	85,87	a
Indução	5	87,20	a

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 26 – Teste de Tukey para médias de fundição dentro do fator liga mista.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Maçarico	5	87,16	a
Indução	5	86,12	a

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.

TABELA 27 – Teste de Tukey para médias de fundição dentro do fator liga refundida.

Nome	Nº Repetições	Médias	5 %
Maçarico	5	76,92	a
Indução	5	85,32	b

Medias seguidas por letras distintas diferem entre si em nível de significância indicado.